

Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen

Arlt, Günter; Hennersdorf, Jörg; Lehmann, Iris; Nguyen, Xuan Thinh

Veröffentlichungsversion / Published Version
Monographie / monograph

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Arlt, G., Hennersdorf, J., Lehmann, I., & Nguyen, Xuan Thinh (2005). *Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen*. (IÖR Schriften, 47). Dresden: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-396830>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

IÖR-Schriften / Band 47

**Günter Arlt, Jörg Hennersdorf,
Iris Lehmann, Nguyen Xuan Thinh**

Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen

Herausgeber:
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.
Direktor Prof. Dr. Bernhard Müller
Weberplatz 1
D-01217 Dresden
Tel.: (0351) 4679-0
Fax: (0351) 4679-212
E-Mail: info@ioer.de
Homepage: <http://www.ioer.de>

© 2005 IÖR

Vorwort

Die Flächennutzung und die Verfügbarkeit von Grund und Boden sind Schlüsselfaktoren der Stadtentwicklung. Die Struktur der Flächennutzung charakterisiert das räumliche Ordnungsgefüge von Flächen unterschiedlicher Nutzungsarten. Sie ist ein signifikanter Einflussfaktor auf sozioökonomische und ökologische Flächenleistungen. Ökologische Flächenleistungen, wie der bioklimatische Ausgleich, die Staubbindung oder die Oberflächenwasserversickerung erlangen in Städten besondere Bedeutung für Gesundheit, Ernährung und Erholung und prägen erheblich die städtische Lebensqualität. Ökologische Leistungsträger sind Freiflächen und deren Vegetation.

Im Rahmen eines disziplinübergreifenden Forschungsvorhabens am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden, wurden für die kreisfreien Städte Deutschlands und deren Umlandgemeinden die Wirkungszusammenhänge von Flächennutzungsstrukturen, Grünflächen- und Grünvolumenausstattung sowie deren räumliche Verteilung in Form von Grünmustern untersucht. Im Mittelpunkt stand die Identifizierung und quantitative Beschreibung von Struktur-Zustands-Beziehungen. Dabei wurde unterstellt und nachgewiesen, dass den Kenngrößen Grünflächenanteil und Grünvolumen sowie Isolations-, Lakunaritäts- und Verbundmaß städtischer Grünflächen eine Indikatorfunktion für ökologische Flächenleistungen und Lebensraumqualität zukommt.

Die Untersuchungen setzen die wirkungsanalytischen Forschungen am IÖR über Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Flächenleistung und städtische Lebensraumqualität fort, die mit der Identifizierung und Bewertung nutzungsstruktureller Beziehungen der Bodenversiegelung und des Bodenpreises begonnen wurden (Arlt et al. 2001). Sie zielen auf die Entwicklung von Basisindikatoren und Bewertungsmaßstäben für städtische Flächenleistungen und Lebensraumqualität sowie auf die Qualifizierung nutzungsstruktureller und funktionsräumlicher Kenngrößen in der Stadtentwicklung.

Die vorliegende Schrift dokumentiert die angewendeten Analyse- und Bewertungsmethoden sowie die Ergebnisse regionalstatistischer und stadtypologischer Untersuchungen. Sie stellt kenngrößendifferenzierte Lagewerte und Histogramme für die kreisfreien Städte und deren Umlandgemeinden dar und enthält Empfehlungen für eine clusterdifferenzierte strategische Orientierung der Städte im Handlungsfeld Flächennutzung unter den Aspekten ökologischer Flächenleistung und Qualität. Die der Untersuchung zugrunde gelegten GIS-basierten Strukturtypenansätze enthält die anliegende CD-ROM.

Neben den Autoren haben Birgit Kochan, Dr. Juliane Mathey und Sylke Stutzriemer vom IÖR an der Schrift mitgewirkt. Ihr Beitrag schließt die vegetationsstrukturelle Qualifizierung des zur Anwendung gelangten Stadtbiooptypenansatzes ein. Das Lektorat der Schrift übernahm Dr. Holger Leimbrock.

Dresden 2005

Die Verfasser

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis	X
Übersichtenverzeichnis	XIV
Anlage CD-ROM	
 Kurzfassung	 1
 1 Freiflächenentwicklung – Bestandteil einer Doppelstrategie der urbanen Innenentwicklung	 13
 2 Flächennutzungsstruktur – Schlüsselfaktor der stadtökologischen Qualität	 17
 3 Grünflächen und Grünvolumen – Elemente des Objektraumes Stadt	 20
3.1 Stadtbiooptypen und städtebauliche Strukturtypen – methodische Grundlagen der Kenngrößenbestimmung	21
3.1.1 Stadtbiooptypenansatz	22
3.1.2 Städtebaulicher Strukturtypenansatz	25
3.1.3 Stadtstrukturtypen statistischer Blöcke	26
3.1.4 Kartengrundlagen	27
3.1.5 Vegetationsstrukturelle Analyse teilstädtischer Gebiete	27
3.1.6 Korrektur des Grünvolumens unter Beachtung der Baumkronenform	29
3.2 Typspezifische Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen differenziert nach Vegetationsschichtung	30
 4 Rasteransatz zur Ableitung des Grünmusters einer Stadt	 43
 5 Wirkungszusammenhänge zwischen Stadtvegetation und stadtökologischer Qualität	 46
 6 Indikatorfunktion städtischer Grünflächen für ausgewählte ökologische Flächenleistungen	 55
 7 Empirische Untersuchungen	 59

8	Grünflächenanteile und spezifisches Grünvolumen der 116 kreisfreien Städte Deutschlands und deren Regionen – Lagewerte und Histogramme	64
8.1	Lagewerte einer Städtekategorie	65
8.1.1	Grünflächenanteile in Kernstädten und Stadtregionen	65
8.1.2	Spezifische Grünvolumen in Kernstädten und Stadtregionen	67
8.2	Histogramme einer Städtekategorie	70
8.2.1	Grünflächenanteile (alle Vegetationsschichten)	70
8.2.2	Spezifisches Grünvolumen (alle Vegetationsschichten)	74
9	Grünmuster der 116 kreisfreien Städte Deutschlands – Kenngrößen und Skalen	78
9.1	Histogramme räumlicher Kenngrößen	78
9.1.1	Isolationsmaß	78
9.1.2	Lakunaritätsmaß	79
9.1.3	Verbundmaß	81
9.2	Typisierung der 116 kreisfreien Städte Deutschlands nach Grünmustern	81
10	Wirkungsbeziehungen zwischen Stadtstruktur, Grünflächenanteilen und Grünvolumen – Regionalstatistisches Untersuchungsprogramm	90
10.1	Faktoren und nutzungsstrukturelle Determinanten der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Kernstädten und Stadtregionen	93
10.1.1	Bodenversiegelung – Schlüsselfaktor der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Kernstädten und Stadtregionen	94
10.1.2	Strukturelle Determinanten der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Kernstädten und Stadtregionen	97
10.2	Kenngrößenanalytische Modelle des Grünflächenanteils und spezifischen Grünvolumens	99
10.2.1	Modelle „Grünflächenanteil“	100
10.2.2	Modelle „Spezifisches Grünvolumen“	101
10.2.3	Modelle „Spezifisches Grünvolumen“ differenziert nach Vegetationsschichten	102
10.2.4	Analyse der Modellfehler	104
10.3	Städte-Cluster	105
10.3.1	Diskriminanz- und Clusteranalyse	106
10.3.2	Häufigkeitsverteilung kreisfreier Städte nach Clustern	111

11	Deutschlands kreisfreie Städte – stadtypologische Gliederung	116
12	Ansätze einer stadtypendifferenzierten entwicklungs- strategischen Orientierung	124
	Literaturverzeichnis	131

Tabellenverzeichnis

Tab. Kf./01: Häufigkeitsverteilung der 116 kreisfreien Städte Deutschlands und deren Stadtregionen auf ausgewählte Klassen der Grünflächenanteile und des spezifischen Grünvolumens	6
Tab. Kf./02: Extrema der räumlichen Kenngrößen und Repräsentantenstädte	7
Tab. 3/01: Gliederung städtischer und gemeindlicher Freiräume nach Bodenbedeckungsarten und Stadtbiooptypen	35
Tab. 3/02: Vegetationsstruktur der 52 Stadtbiooptypen – Flächenanteile der Vegetationsschichten und Flächen ohne Vegetation	36
Tab. 3/03: Vegetationsstruktur der städtebaulichen Strukturtypen im Siedlungs- und Freiraum – Flächenanteile der Vegetationsschichten und Flächen ohne Vegetation	37
Tab. 3/04: Vegetationsstruktur der Strukturtypen der statistischen Blöcke – Flächenanteile der Vegetationsschichten und Flächen ohne Vegetation	38
Tab. 3/05: Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschichten, Anteile der Kronenformen sowie Gesamtgrünvolumen der Stadtbiooptypen	39
Tab. 3/06: Spezifisches Grünvolumen der Strukturtypen des Siedlungs- und Freiraumes	40
Tab. 3/07: Spezifisches Grünvolumen der Strukturtypen der statistischen Blöcke	41
Tab. 3/08: Lagewerte der spezifischen Grünvolumen der Vegetationsschichten sowie der spezifischen Grünvolumen insgesamt differenziert nach Stadtbiooptypen-, städtebaulichem Strukturtypen- und Stadtstrukturtypenansatz	42
Tab. 5/01: Wirkungstendenzen von Stadtvegetation auf ausgewählte ökologische Leistungen	51
Tab. 5/02: Ökologische Wirkung der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“, „hoch“	52
Tab. 5/03: Einfluss von Vegetation auf die lufthygienischen Bedingungen bearbeitet nach: Bartenfelder, Baumann, Bernatsky, de la Chevallierie, Doernach, Heid, Köhler, Minke, Witter	54
Tab. 8/01: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittelwerte der Grünflächenanteile und des spezifischen Grünvolumens differenziert nach Raumebenen und Vegetationsschichten	65
Tab. 9/01: Extrema der räumlichen Kenngrößen und Repräsentantenstädte	78

Tab. 9/02: Übersicht über ausgewählte Städte mit positiven und negativen Differenzen zwischen Grünflächenanteil und Lakunaritätsmaß	80
Tab. 10/01: Analyse der Modellfehler – Statistik für die Fehlerfunktionen (Residualgrößen)	104
Tab. 12/01: Vergleich „aufzeigender“ Mittelwerte in ausgewählten Handlungsfeldern der Flächennutzung bei strategischer Orientierung der Städte auf (a) ökonomisch-ökologisch ausgewogene Flächenleistung und (b) auf mittlere ökologische Flächenleistung/Qualität	125
Tab. 12/02: Clusterdifferenzierte strategische Orientierung im Handlungsfeld Flächennutzung für die kreisfreien Städte Deutschlands aus ökologischem Ansatz	127

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1/01:	Handlungsfelder und Doppelstrategie urbaner Innenentwicklung	15
Abb. 3/01:	Objektraum Stadt mit ausgewählten Elementen: „Versiegelte Fläche – ohne Gebäude“, „Grünflächen – niedrige Vegetation – mittlere Vegetation – hohe Vegetation“, „Gebäude“, „Wasserflächen“, „Offene Flächen“	21
Abb. 3/02:	Methodische Grundlagen der Bestimmung gesamtstädtischer bzw. stadtreionaler Grünflächenanteile und Grünvolumen	22
Abb. 3/03:	Matrix der Vegetationsstruktur am Beispiel des Stadtbiooptyps 1 (Wohnbebauung, gemischte Bauflächen, Industrie-, Gewerbe- und Sonderflächen) und schematischer Ablauf der vegetationsstrukturellen Analyse	23
Abb. 3/04:	Biooptypkarten der Stadt Dresden in den Jahren 1993 und 1999 unter Berücksichtigung der Eingemeindungen 1997 und 1999	24
Abb. 3/05:	Kartierung städtebaulicher Strukturtypen sowie der Freiraum- und Wasserflächen am Beispiel der Stadtregion Stuttgart	26
Abb. 3/06:	Vegetationsstrukturelle Analyseergebnisse des Stadtteils Dresden/Weißeritzgebiet	28
Abb. 3/07:	Schematische Körperberechnung der Grünvolumen von Rasen-, Strauch- und Baumfluren	29
Abb. 3/08:	Überschlägige Berücksichtigung der Kronenformen von Bäumen in der Vegetationsschicht „hoch“ in Form von Verhältniszahlen zum Zylinder	30
Abb. 3/09:	Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen von Stadtbiooptypen – Beispiel Stadtbiooptyp 1: Wohnbebauung, gemischte Bauflächen, Industrie-, Gewerbe- und Sonderflächen	32
Abb. 3/10:	Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen städtebaulicher Strukturtypen – Beispiel Städtebaulicher Strukturtyp 1: Flächen mit verdichtet geschlossener Bebauung	33
Abb. 3/11:	Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen der Stadtstrukturtypen statistischer Blöcke – Beispiel Stadtstrukturtyp 1: Flächen mit geschlossener Blockbebauung	34
Abb. 4/01:	Überdeckung des Stadtmusters mit einem quadratischen Rasternetz	43
Abb. 4/02:	Räumliche Anordnung der Grünzellen	44
Abb. 5/01:	Luftkreislauf (Schema) – Stadt bei windarmem Wetter	47

Abb. 5/02:	Temperaturdifferenzen (Δt) verschiedener Berliner Grünanlagen zu ihrer unmittelbaren Umgebung in Abhängigkeit von ihrer Fläche in einer mäßig austauscharmen Strahlungsnacht (09.07.1982, 23:00 h MEZ) bei NO- bis O-Wind	49
Abb. 6/01:	Funktionsschema der Beziehung zwischen Pflanze und Umwelt	55
Abb. 6/02:	Einfluss der Vegetation auf den Wasserhaushalt	56
Abb. 6/03:	Lufttemperatur in °C und relative Luftfeuchtigkeit in % in Abhängigkeit von unterschiedlichen Bodendeckschichten	57
Abb. 6/04:	Windschutzwirkung einer 5 m hohen Pflanzung – Prozent des Freilandwindes gemessen in Bodennähe	57
Abb. 6/05:	Ökologische Flächenleistungsparameter in Abhängigkeit von der Art der Bodendeckschicht	58
Abb. 7/01:	Darstellung der räumlichen Untersuchungsebenen Kernstadt, Stadtregion, Siedlungsraum und Freiraum	61
Abb. 8/01:	Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der Grünflächenanteile der Kernstädte (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten	66
Abb. 8/02:	Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der Grünflächenanteile der Siedlungsräume von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten	67
Abb. 8/03:	Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der Grünflächenanteile der Freiräume von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten	68
Abb. 8/04:	Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der spezifischen Grünvolumen von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten	69
Abb. 8/05:	Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der spezifischen Grünvolumen in Siedlungsräumen von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten	70
Abb. 8/06:	Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der spezifischen Grünvolumen in Freiräumen von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten	71
Abb. 8/07:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen der Grünflächenanteile	72
Abb. 8/08:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen der Grünflächenanteile	72
Abb. 8/09:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen der Grünflächenanteile am Siedlungsraum	73

Abb. 8/10:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen der Grünflächenanteile am Siedlungsraum	73
Abb. 8/11:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen des spezifischen Grünvolumens	75
Abb. 8/12:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen des spezifischen Grünvolumens	75
Abb. 8/13:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen des spezifischen Grünvolumens in Siedlungsräumen	76
Abb. 8/14:	Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen des spezifischen Grünvolumens in Siedlungsräumen	76
Abb. 9/01:	Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach dem Isolationsmaß	79
Abb. 9/02:	Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach dem Lakunaritätsmaß	80
Abb. 9/03:	Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach dem Verbundmaß	81
Abb. 9/04:	Typisierung der 116 Grünmuster der kreisfreien Städte Deutschlands	84
Abb. 9/05:	Ordnungstheoretische Bewertung städtischer Grünmuster nach dem Hassediagramm; Darstellung der längsten Grünmuster-Kette von 116 Grünmustern	84
Abb. 9/06:	Ausgewählte Grünmuster des Clusters I	85
Abb. 9/07:	Ausgewählte Grünmuster des Clusters II	86
Abb. 9/08:	Ausgewählte Grünmuster des Clusters III	87
Abb. 9/09:	Ausgewählte Grünmuster des Clusters IV	88
Abb. 9/10:	Ausgewählte Grünmuster des Clusters V	89
Abb. 10/01:	Kenngroßenanalytische Modelle „Grünflächenanteil“ für Kernstädte und Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“	100
Abb. 10/02:	Kenngroßenanalytische Modelle „Spezifisches Grünvolumen“ für Kernstädte und Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“	101
Abb. 10/03:	Kenngroßenanalytisches Modell „Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht niedrig“ für Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“	102
Abb. 10/04:	Kenngroßenanalytische Modelle „Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschichten mittel bzw. hoch“ für Kernstädte und Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“	103

Abb. 10/05: Abhängigkeit zwischen dem stadtökologischen Qualitätsniveau und statistischen sowie funktionsräumlichen Kenngrößen	108
Abb. 10/06: Korrelationsmatrix der nutzungsstrukturellen Kenngrößen mit Angaben zu den ausgeschlossenen Kenngrößen	109
Abb. 10/07: Methodisches Vorgehen zur Clusterbildung	110
Abb. 10/08: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung nach Clustern mit den Variablen Grünvolumen, Versiegelungsgrad, Wasserflächenanteil für Kernstädte und Umlandgemeinden sowie dem Verbundmaß für Kernstädte	112
Abb. 10/09: Darstellung der Grünmuster der Clusterrepräsentanten und weiterer ausgewählter Städte	114
Abb. 11/01: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte ausgewählter clusterdifferenzierter Kenngrößen zur Charakterisierung der Flächennutzungsstruktur	120
Abb. 11/02: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte ausgewählter clusterdifferenzierter Kenngrößen zur Charakterisierung der Grünflächen- und Grünvolumensituation von Kernstädten	121
Abb. 11/03: Schlüssel zur ökologischen Bewertung von Freiflächen im Ballungsraum Mittlerer Neckar	122

Übersichtenverzeichnis

Übersicht 10/01: Regionalstatistisches Untersuchungsprogramm	91
Übersicht 10/02: Abhängige Variable – ausgewählte Kenngrößen des Grünflächenanteils und -volumens der Kernstädte (Y)	91
Übersicht 10/03: Abhängige Variable – ausgewählte Kenngrößen des Grünflächenanteils und -volumens der Stadtregionen (Y)	91
Übersicht 10/04: Unabhängige Variable – ausgewählte strukturelle Kenngrößen der Kernstädte (X)	92
Übersicht 10/05: Unabhängige Variable – ausgewählte strukturelle Kenngrößen der Stadtregionen (Z)	93
Übersicht 10/06: Faktorenanalyse der Grünflächen- und Grünvolumen- situation in Kernstädten	95
Übersicht 10/07: Faktorenanalyse der Grünflächen- und Grünvolumen- situation in Stadtregionen	95
Übersicht 10/08: Determinanten auf der Grundlage der Faktorenanalyse von Kernstädten	97
Übersicht 10/09: Determinanten auf der Grundlage der Faktorenanalyse von Stadtregionen	98
Übersicht 10/10: Wesentliche Kenngrößen für das stadtökologische Qualitätsniveau	108

Kurzfassung

Freiflächenentwicklung – Bestandteil einer Doppelstrategie der urbanen Innenentwicklung

Das Forschungs- und Handlungsfeld „urbane Innenentwicklung“ gewinnt zunehmend an Bedeutung, weil neben der ökologischen Sicht auf die ungebremsste Inanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke verstärkt auch wieder die ökonomischen – insbesondere volkswirtschaftlichen – Argumente gegen die flächen- und verkehrsintensiven Lebens- und Wirtschaftsweisen ins Blickfeld gelangen. Urbane Innenentwicklung zielt auf die Deckung neuer Flächenbedarfe im Innenbereich und im überplanten Bereich der Städte. Sie erfolgt unter weitgehendem Ausschluss neuer Baurechte im Außenbereich und präferiert die bestandsbezogene städtebauliche Entwicklung. Vor dem Hintergrund einer andauernden Inanspruchnahme von Freiflächen und der Freiraumdefizite in vielen Großstädten ist die bestandsbezogene städtebauliche Entwicklung an einer Doppelstrategie auszurichten. Einerseits sind weitere Gebäude-, Betriebs- und Verkehrsflächen für eine ökonomische Nutzung im besiedelten Bereich zu mobilisieren. Andererseits sind die Freiflächen im besiedelten Bereich zu entwickeln, d. h. zurückzugewinnen, zu qualifizieren und zu vernetzen. Freiraumentwicklung sollte ein integratives Element jeder Innenentwicklungsstrategie sein. Als wesentliche Handlungsfelder der bestandsorientierten Innenentwicklung sind Baulückenschließung, Arrondierung, Nachverdichtung und das Brachflächenrecycling anzusehen. Unter Berücksichtigung des zyklischen Brachfallens von Flächennutzungen und des Brachfallens als Folge der Entleerung der Räume im Rahmen der demografischen und ökonomischen Schrumpfungsprozesse ist das Brachflächenrecycling als zentrale Strategie der Innenentwicklung zur Verbesserung der stadtökologischen Qualität anzusehen.

Flächennutzungsstruktur – Schlüsselfaktor der stadtökologischen Qualität

Die stadtökologische Qualität ist Teil der Umweltqualität. Sie ist das Maß der Abweichung des städtischen Umweltzustandes von gesellschaftlichen Zielvorgaben für den Umwelt- und Naturschutz. Der Umweltzustand ist Ausdruck der gesellschaftlichen Lebensbedingungen sowie der strukturellen und funktionellen Bedingungen der Städte. Die städtische Flächennutzungsstruktur als räumliches Ordnungsgefüge von Flächen unterschiedlicher Nutzungsarten erweist sich dabei als signifikanter Einflussfaktor auf Flächenleistungen und städtische Lebensqualität. Die Flächenleistung wird

als Grad der Erfüllung von Funktionen im Rahmen der Flächennutzung definiert (Arlt et al. 2001). Die städtische Lebensqualität wird neben den aus dem Stadtumland angeeigneten Flächenleistungen grundlegend durch die Gesamtheit ökonomischer, sozialer und ökologischer Leistungen bestimmt, die auf städtischen Flächen erzielt werden. Wichtige Leistungsträger sind die Böden und deren Vegetation mit Einfluss auf Klima, Lufthygiene, Wasserhaushalt sowie naturbetonte Biotope und mit Bedeutung für Gesundheit, Ernährung und Erholung der städtischen Bevölkerung. Die zugrunde gelegte Definition der Flächennutzungsstruktur schließt neben den Anteilen von Frei- und Grünflächen deren Beziehungsgefüge und räumliche Verteilung als Leistungsfaktoren ein. Zur Beschreibung des räumlichen Ordnungsgefüges städtischer Grünflächen stehen die Kenngrößen Isolationsmaß (zur Beschreibung der räumlichen Dispersion), Lakunaritätsmaß (zur Charakterisierung der „Löchrigkeit“) und Verbundmaß (als Kenngröße der Vernetzung) in der Diskussion.

Das Wissen über die Wirkungsbeziehungen zwischen Flächennutzungsstrukturen und ökologischen Flächenleistungen ist von grundlegender Bedeutung für die nutzungsstrukturelle Einflussnahme auf die stadtökologische Qualität.

Grünflächen, Grünvolumen und Grünmuster – Elemente des Objektraumes Stadt

Der gewählte Forschungsansatz definiert Stadt als Objektraum mit den Elementen versiegelte Fläche (ohne Gebäude), Grünfläche (mit niedriger, mittlerer, hoher Vegetation), Gebäude, Wasserfläche, offene Fläche. Art und Maß der Elemente sowie ihre funktionsräumliche Verteilung sind von hoher Aussagesignifikanz für die klimatische und lufthygienische Situation aber auch den Wasserhaushalt der Städte und Stadtregionen.

Der Beschreibung und Bewertung der Grünflächen- und Grünvolumensituation von Städten und Stadtregionen werden folgende Kenngrößen zugrunde gelegt:

- Grünflächenanteil [%] – Anteil vegetationsbestandener Flächen insgesamt und differenziert nach den Schichtungen „niedrig“, „mittel“, „hoch“ an den Bezugsflächen Kernstadt, Stadtregion, Siedlungsraum und Freiraum,
- Flächenspezifisches Grünvolumen [m^3/m^2] – das auf Flächeneinheiten (in der Regel 1 m^2) der Kernstadt, Stadtregion, des Siedlungs- oder Freiraums bezogene Volumen vegetationsbestandener Flächen; es wird in der Regel nach Vegetationsschichtung „niedrig“, „mittel“, „hoch“ und für alle Vegetationsschichten ausgewiesen,
- Isolationsmaß [-] – Summe der Varianzen von Zeilen- und Spaltenpositionen der Grünzellen in einem Rasterraum,

- Lakunaritätsmaß [%] – Flächenanteil aller Grünzellen in einem Rasterraum mit mehr als 60 % Grünfläche an der Stadtfläche,
- Verbundmaß [%] – Flächenanteil des größten zusammenhängenden Polygons von Grünflächen in einem Rasterraum an der Gesamtfläche aller Grünflächen.

Die Kenngrößen „Grünflächenanteil“ und „flächenspezifisches Grünvolumen“ sind auf der Grundlage eines Stadtbioptypenansatzes und im Rahmen einer mittelmaßstäbigen vegetationsstrukturellen Analyse entwickelt worden. Sie liegen für 52 charakteristische Stadtbioptypen vor (Anlage CD-ROM) und sind in einem GIS-gestützten Verfahren auf städtebauliche Strukturtypen und Strukturtypen statistischer Blöcke transformiert worden. Grundlegende Bedeutung für wirkungsanalytische und stadttypologische Untersuchungen im Rahmen der empirischen Forschung erlangen Grünflächenanteile und flächenspezifisches Grünvolumen als Attribute der städtebaulichen Strukturtypen.

Die Ableitung städtischer Grünmuster und räumlicher Kenngrößen zur Beschreibung und Bewertung der Verteilung und des Beziehungsgefüges städtischer Grünflächen geht von einem Rasteransatz aus. Auf der Grundlage von Raster- bzw. Grünzellen eines quadratischen Gitternetzes mit der Maschenweite von 100 x 100 Metern wird das räumliche Ordnungsgefüge städtischer Grünflächen in Form von Grünmustern visualisiert und in Form von Algorithmen zur Bestimmung von Isolations-, Lakunaritäts- und Verbundmaßen mathematisch formuliert.

Wirkungsbeziehungen zwischen Stadtvegetation und stadttökologischer Qualität

Stadttökologische Qualität rekurriert auf die Biotopausstattung von Städten und deren Struktur und Vielfalt (strukturelle Bedingungen), insbesondere aber auf die ökologischen Leistungen bzw. Funktionen (funktionelle Bedingungen). Letztere stehen in weitgehend erforschten Beziehungen zur Stadtvegetation. Dabei werden vordergründig das bioklimatische Ausgleichs- und Staubbindevermögen, der positive Einfluss auf den Wasserhaushalt sowie die psychosozialen Wirkungen wahrgenommen. In konkreten Planungen, beispielsweise der Grünflächensanierung unter Beachtung von Nutzerpräferenzen oder der Überplanung von Brach- und Konversionsflächen, sollten die spezifischen ökologischen Leistungen der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ stärkere Beachtung finden. Dabei ist davon auszugehen, dass Wiese und Rasen (Vegetationsschicht „niedrig“) günstige Assimilationswerte aufweisen, Baumbestände (Vegetationsschicht „hoch“) die Lufttemperatur und -feuchtigkeit günstig beeinflussen sowie Parkanlagen (Flächen mit den Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“) hohe bioklimatische Wirkungen aufweisen.

Empirische Untersuchungen in den kreisfreien Städten Deutschlands

Die empirischen Untersuchungen städtischer Grünflächen- und Grünvolumensituationen nehmen auf 91 kreisfreie Städte in Westdeutschland und 25 kreisfreie Städte in Ostdeutschland und damit auf die Grundgesamtheit einer Städtekategorie in Deutschland Bezug. Sie zielen auf die Identifizierung von Lagewerten, Häufigkeitsverteilungen, Grünmustern, Einflussfaktoren und strukturellen Determinanten sowie auf die Entwicklung kenngrößenanalytischer Modelle, stadtypologischer Gliederungen und strategischer Orientierungswerte. Schwerpunkte bilden die Wirkungsanalyse auf der Grundlage einschlägiger regionalstatistischer Verfahren (Faktorenanalyse, multiple Regressionsanalyse) und stadtypologische Untersuchungen mithilfe des Städtevergleichs und modifizierter Clusteranalysen. Die empirischen Untersuchungen schließen die räumlichen Ebenen Kernstadt, Stadtregion, Siedlungsraum und Freiraum ein. Die wirkungsanalytischen Untersuchungen werden für 96 kreisfreie Städte mit dem Gebiets- und Datenstand von 2001 durchgeführt. Für 20 kreisfreie Städte gilt wegen der inkonsistenten Datenlage aufgrund von Eingemeindungen im Rahmen von Gebietsreformen der Gebiets- und Datenstand von 1997.

Lagewerte und Histogramme einer Städtekategorie

Die nach Vegetationsschichten differenzierten Grünflächenanteile und spezifischen Grünvolumen sind stadtoökologische Kenngrößen, deren planungspraktische Anwendung aufgrund der mittelmaßstäbigen Analyseebene der 116 kreisfreien Städte Deutschlands weitgehend auf die Raumebenen Kernstadt bzw. Stadtregion, d. h. auf die **gesamstädtische bzw. stadtreionale Planungsebene** festlegt ist.

Die **mittleren Grünflächenanteile** der Kernstädte (78 %) liegen in der Größenordnung der Stadtregionen (84 %). Die geringfügig höheren mittleren stadtreionalen Grünflächenanteile von 6 % quantifizieren die generellen Aussagen über die höheren Grünflächenanteile in Umlandgemeinden. Sowohl für Kernstädte als auch Stadtregionen bilden sich folgende Proportionen in der Vegetationsschichtung der Grünflächenanteile ab: 50 % „niedrig“, 10 % „mittel“ und 20 % „hoch“.

Extreme Grünflächenanteile in den Städten und Regionen sind vordergründig auf die Dominanz der Vegetationsschichtungen „niedrig“ und „hoch“ sowie auf hohe Anteile von Wasserflächen an der Stadt- bzw. Stadtreionsfläche zurückzuführen. Die Bandbreiten in den Grünflächenanteilen der Städte und deren Regionen spiegeln die nutzungsstrukturellen Unterschiede wider und weisen auf differenzierte strategische Orientierungen in der Stadtentwicklung hin.

Grünflächen in städtischen Siedlungsräumen erlangen zunehmend, auch gegenüber den Freiräumen, eine höhere Wertschätzung. Die mittleren Grünflächenanteile

der Siedlungsräume in den Kernstädten (ca. 25 %) unterscheiden sich in der Größenordnung deutlich von denen der Stadtregionen (ca. 60 %). Die Proportionen in den Flächenanteilen weisen für Kernstädte und Stadtregionen die Vegetationsschicht „hoch“ mit 15 % aus. Die Flächenanteile mit den Vegetationsschichten „niedrig“ und „hoch“ unterscheiden sich in Kernstädten (jeweils 5 %) und Stadtregionen (35 % und 10 %) deutlich.

Die **Grünflächenanteile der Freiräume** von Kernstädten und Stadtregionen weisen in den Mittelwerten nur geringe Unterschiede auf. Dagegen spreizen die Bandbreiten der Extremwerte erheblich. Der mittlere Grünflächenanteil von ca. 90 % an der Freiraumfläche der Kernstädte bzw. Stadtregionen setzt sich aus den Flächenanteilen der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ von ca. 60 %, 10 % und 20 % zusammen.

Das **spezifische Grünvolumen** auf den mittelmaßstäbigen Raumebenen Kernstadt und Stadtregion erfüllt die Funktion eines Basisindikators, mit dem – in der Regel im Zusammenhang mit der Bodenversiegelung – eine „grobe“ Anzeige der stadtoökologischen Qualität erfolgt. Kernstädte und Stadtregionen der 116 kreisfreien Städte Deutschlands weisen ein mittleres spezifisches Grünvolumen ähnlicher Größenordnung ($2,52 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und $2,61 \text{ m}^3/\text{m}^2$) auf. Die Größenordnung ist durch das Volumen der Vegetationsschicht „hoch“ festgelegt, das im Mittel der Kernstädte ($1,97 \text{ m}^3/\text{m}^2$) bzw. Stadtregionen ($2,00 \text{ m}^3/\text{m}^2$) ebenfalls nur geringe Unterschiede aufweist.

Das **spezifische Grünvolumen der Siedlungsräume** von Kernstädten und Stadtregionen bewegt sich in einer kleinen Bandbreite von ca. $1,80 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bis $2,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und wird grundlegend vom Volumen der Vegetationsschicht „hoch“ bestimmt.

Durch **das spezifische Grünvolumen der Freiräume** erfahren Kernstädte und Stadtregionen ihre vegetationsstrukturelle Prägung. Die Mittelwerte von Kernstadt ($2,80 \text{ m}^3/\text{m}^2$) und Stadtregion ($2,79 \text{ m}^3/\text{m}^2$) stimmen nahezu überein. Die Extremwerte weisen sowohl in Kernstädten als auch in Stadtregionen große Abstände auf. Die Größenordnung des spezifischen Grünvolumens im Freiraum wird durch die Vegetationsschicht „hoch“ grundlegend festgelegt. Die Beiträge der Vegetationsschichten „niedrig“ und „mittel“ zum spezifischen Grünvolumen des Freiraumes liegen im Mittel bei $0,40 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Die **Histogramme** der stadtoökologischen Kenngrößen Grünflächenanteil und spezifisches Grünvolumen vermitteln die nutzungsstrukturelle Vielfalt der kreisfreien Städte Deutschlands und deren daraus hervorgehende Unterschiede in der stadtoökologischen Qualität.

Der überwiegende Teil der Stadtregionen (54 %) weist hohe **Grünflächenanteile** zwischen 85 % und 100 % auf und unterstreicht damit die deutlich günstigere Grünflächensituation gegenüber den Kernstädten, deren Anteil in dieser Anteilsklas-

se nur 21 % beträgt (Tab. Kurzfassung/01). Die stadtreionalen Grünflächenanteile korrespondieren mit dem Grad der Verstädterung des Umlandes, der im Zusammenhang mit dem Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil der Umlandgemeinden steht. Die Anteilklassen kleiner 80 % enthalten zahlreiche Stadtregionen des Ruhrgebietes, in dem die kreisfreien Städte hohe Siedlungs- und Verkehrsflächenanteile aufweisen und definitionsgemäß sowohl Kernstädte als auch Umlandgemeinden sind.

*Tab. Kurzfassung/01: Häufigkeitsverteilung der 116 kreisfreien Städte Deutschlands und deren Stadtregionen auf ausgewählte Klassen der Grünflächenanteile und des spezifischen Grünvolumens
(Quelle: Eigene Bearbeitung)*

Kenngrößen in Klassen	Anteil der Kernstädte in %	Anteil der Stadtregionen in %
Grünflächenanteil >85-100 %	21	54
Grünflächenanteil >70-85 %	62	42
Grünflächenanteil 55-70 %	17	4
Spez. Grünvolumen >4-6 m ³ /m ²	34	28
Spez. Grünvolumen >2-4 m ³ /m ²	56	65
Spez. Grünvolumen bis 2 m ³ /m ²	10	7

Das Grünvolumen steht neben Baukörpern und Baustrukturen in direkter Beziehung zum Luftvolumenstrom in der bodennahen Atmosphäre und beeinflusst somit die lufthygienische und bioklimatische Situation. Das **spezifische Grünvolumen** gibt als theoretischer Wert die mittlere Vegetationshöhe für Kernstädte bzw. Stadtregionen je m² Bezugsfläche an und ist eine Kenngröße mit Indikatorfunktion für diese Situationen. Der überwiegende Anteil der Kernstädte und Stadtregionen ist durch ein mittleres spezifisches Grünvolumen zwischen 2 m³/m² und 4 m³/m² charakterisiert. Das Grünvolumen der Stadtregionen unterliegt signifikant dem Einfluss der landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Umlandgemeinden. Ein hoher Anteil Ackerflächen mit der Vegetationsschichtung „niedrig“, aber auch ein hoher Wasserflächenanteil senken das spezifische Grünvolumen der Stadtregionen unter das Niveau von Kernstädten (Tab. Kurzfassung/01).

Alle Siedlungsräume der Kernstädte und Stadtregionen verteilen sich auf Klassen mit geringer Bandbreite zwischen 54 % und 64 % bei den Grünflächenanteilen sowie zwischen 1,8 m³/m² und 2,2 m³/m² beim spezifischen Grünvolumen. Dies verdeutlicht, dass die Situation in den Kernstädten und Stadtregionen insgesamt weitgehend weniger als erwartet durch die Grünsituation des Siedlungsraumes, vielmehr grundlegend durch die des Freiraumes determiniert ist. Die Proportionen zwischen Siedlungs- und Freiraum spielen in der Ausprägung vegetationsstruktureller Niveaus in

Kernstädten und Stadtregionen eine zentrale Rolle. Die Proportionen werden in wirkungsanalytischen Untersuchungen durch den Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil von Kernstädten und Stadtregionen treffend charakterisiert.

Grünmuster – Kenngrößen und Skalen

Grünmuster sind stadttypische räumliche Verteilungen von Grünflächen, deren Darstellung und Messung auf der Grundlage des Rasteransatzes und mithilfe der Kenngrößen Isolationsmaß (dimensionslos), Lakunaritätsmaß (%) und Verbundmaß (%) möglich ist. Das Isolationsmaß spiegelt die räumliche Dispersion städtischer Grünflächen wider. Es steht in negativer Beziehung zur stadtökologischen Qualität und nimmt in der Tendenz zu, je größer die Stadtfläche ist. Die Lakunarität ist ein Maß für die Löchrigkeit von Gebilden. Das Lakunaritätsmaß korreliert sehr hoch mit dem städtischen Grünflächenanteil und steht ebenso wie das Verbundmaß, als Kenngröße der Vernetzung städtischer Grünflächen, in einer positiven Beziehung zur stadtökologischen Qualität. Die kreisfreien Städte weisen deutliche Unterschiede in den räumlichen Kenngrößen auf (Tab. Kurzfassung/02).

Tab. Kurzfassung/02: Extrema der räumlichen Kenngrößen und Repräsentantenstädte
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Kenngrößen	Minimum		Maximum	
	Wert	Städte	Wert	Städte
Isolationsmaß [-]	7	Rosenheim	215	Berlin
Lakunaritätsmaß [%]	41	Herne	93	Baden-Baden, Neustadt/W., Suhl
Verbundmaß [%]	15	Duisburg	100	Neustadt/W., Plauen, Pirmasens, Suhl, Wolfsburg

In stadttypologischen Untersuchungen sind fünf Städte-Cluster mit typischen Grünmustern identifiziert worden. Neben dem Isolations-, Lakunaritäts- und Verbundmaß fanden die flächenspezifischen Grünvolumen der Kernstädte insgesamt und der kernstädtischen Siedlungsräume als Variable Berücksichtigung. Das Ergebnis ist eine der Normalverteilung ähnliche Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach Grünmustern. Das stadtökologische Qualitätsniveau ist von Cluster I bis V steigend. Eine Strukturanalyse belegt, dass die Cluster I bis V charakteristische Grünmuster und deutlich unterschiedliche ökologische Qualitätsniveaus von sehr niedrig (Cluster I) über mittel (Cluster III) bis sehr hoch (Cluster V) aufweisen. Die clusterdifferenzierte kartografische Darstellung der Grünmuster ausgewählter Städte vermittelt typische räumliche Grünflächenverteilungen, die durch Abnahme isolierter Grünflächen und Zunahme des Grünflächenverbundes vom Cluster I zum Cluster V charakterisiert sind.

Wirkungsbeziehungen zwischen Stadtstruktur, Grünflächenanteilen und Grünvolumen

Art und Maß städtischer bzw. stadtreionaler Grünflächen stehen in Wirkungsbeziehungen zur Flächennutzungsstruktur. Den wirkungsanalytischen Untersuchungen liegt ein regionalstatistisches Untersuchungsprogramm zugrunde, in dem mit einschlägigen regionalstatistischen Verfahren der nutzungsstrukturelle Einfluss auf Grünflächenanteile und Grünvolumen in Kernstädten und Stadtregionen untersucht wird. Es sind partielle Untersuchungen innerhalb des zirkulär-kausalen Zusammenhanges zwischen Prozessen, Strukturen und Phänomenen. Die wirkungsanalytischen Untersuchungen konzentrieren sich auf einseitige Beziehungen der Variablen, in der Grünflächenanteile und Grünvolumen als abhängige Variable und Kenngrößen der Flächennutzungsstruktur als unabhängige Variable definiert werden.

Faktoren und strukturelle Determinanten der Grünflächen- und Grünvolumensituation

In einer Faktorenanalyse werden mit „Bodenversiegelung“, „Wald“, „Wasser“, „Rohstoffgewinnung“ vier Faktoren extrahiert, die sowohl für Kernstädte als auch für Stadtregionen relevant sind. Mit Blick auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Kernstädten und Stadtregionen stellt sich die Bodenversiegelung als Schlüsselfaktor heraus, auf den u. a. der Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil hoch positiv lädt. Der Faktor „Wald“ beeinflusst den Anteil der Vegetationsschichtung „hoch“ entscheidend und nimmt grundlegenden Einfluss auf das Grünvolumen als qualitatives Merkmal der Vegetationsstruktur. Die Faktorladung der Kenngröße „Waldflächenanteil“ ist hoch positiv. Der Faktor „Wasser“ nimmt auf die vegetationslosen Oberflächengewässer Bezug und wirkt auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Kernstädten und Stadtregionen grundsätzlich negativ. Allerdings sind Wasserflächen wesentliche ökologische Leistungsträger unter den Bodenbedeckungsarten und kompensieren die aus Vegetationsdefiziten resultierenden ökologischen Leistungsverluste überdurchschnittlich. Der Faktor „Rohstoffgewinnung“ nimmt auf die weitgehend vegetationslosen Abbau- und Deponieflächen Bezug und beeinflusst die Grünflächen- und Grünvolumensituation grundsätzlich negativ.

Darüber hinaus sind kernstadtspezifische Faktoren („Flächenproduktivität“, „Besondere Nutzungen“, „Erholung“) und mit der „Extensiven Landwirtschaft“ ein stadtreionspezifischer Faktor identifiziert worden.

Unter Beachtung der Faktorladung der extrahierten Kenngrößen und ihrer planungspraktischen Verfügbarkeit sind für Kernstädte und Stadtregionen vier strukturelle Determinanten ausgewählt worden: „Anteil Siedlungs- und Verkehrsfläche bzw. Siedlungsraumfläche“, „Anteil Waldfläche“, „Anteil Wasserfläche bzw. Gewässerfläche“, „Anteil Abbaufäche bzw. Abbau- und Deponiefläche“.

Weitere kernstadtspezifische Determinanten liegen mit der „einwohnerspezifischen Erholungsflächenausstattung“, den „Flächenanteilen anderer Nutzung“ und der „Flächenproduktivität der Siedlungsfläche“ vor. Für Stadtregionen erlangt die Kenngröße „Anteil der Ackerflächen“ Bedeutung als nutzungsstrukturelle Determinante.

Kenngrößenanalytische Modelle des Grünflächenanteils und spezifischen Grünvolumens

Unter Beachtung der faktorenanalytischen Ergebnisse werden im Rahmen multipler Regressionsanalysen kenngrößenanalytische Modelle entwickelt. Sie zielen auf Algorithmen zur Ermittlung gesamtstädtischer Grünflächenanteile und gesamtstädtischer Grünvolumen mithilfe ausgewählter Kenngrößen, die auf Faktoren mit hoher Zielgrößen-Signifikanz hoch laden und als strukturelle Determinanten identifiziert worden sind. Die Modelle „Grünflächenanteil“ rekurren auf die städtischen bzw. stadtreionalen Flächenkategorien Siedlungsraum, Abbau-/Deponieraum, Erholungsraum, Acker, Wald und Wasser. Sie sind für Kernstädte und Stadtregionen entwickelt worden und weisen die Kenngrößen „Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil“ bzw. „Siedlungsraumflächenanteil“ als strukturelle Determinanten mit negativer Wirkung auf die Grünflächenanteile aus. Als Kenngrößen mit positiver Wirkungsrichtung, aber geringerer Aufklärungssignifikanz berücksichtigen die Modelle den Wald- und Ackerlandanteil sowie die einwohnerspezifische Erholungsflächenausstattung.

Die Modelle „Spezifisches Grünvolumen“ identifizieren die Kenngröße „Waldflächenanteil“ als nutzungsstrukturelle Determinante und verdeutlichen somit den vegetationsstrukturellen Einfluss der Vegetationsschichtung auf das Grünvolumen. Mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,97 und 1 erreichen die Modelle sehr hohe bzw. die höchste Varianzaufklärung von städtischen und stadtreionalen Grünvolumen.

Alle Modelle des nach Vegetationsschichten differenzierten Grünvolumens erklären die Varianzen mit sehr hoher Bestimmtheit (R^2 zwischen 0,977 und 0,999) und weisen den Waldflächenanteil an der Stadt- bzw. Stadtreionsfläche als signifikanten bis hochsignifikanten Einflussfaktor aus. Nur in Stadtregionen unterliegt das Grünvolumen der Vegetationsschicht „niedrig“ einem stärkeren nutzungsstrukturellen Einfluss: dem Anteil des Ackerlandes an der Fläche der Stadtregion.

Die Bewertung der Modelle erfolgt auf der Grundlage der Statistik für Fehlerfunktionen anhand von Residualgrößen sowie deren Mittelwerten und Standardabweichungen. Letztere sind ein Maß für die Streuung um den Mittelwert. Die Residualgrößen bestätigen die an den Bestimmtheitsmaßen erkennbaren geringen Regressionsvarianzen und damit eine hohe Anpassungsgüte der Modelle. Die Modelle nehmen mit ihren Regressionsaussagen auf gesamtstädtische bzw. stadtreionale Grünflächen- und Grünvolumensituationen Bezug und bilden die Grundlage für mittelmaßstäbige Analyse- und Prognoseinstrumente.

Deutschlands kreisfreie Städte – stadttypologische Gliederung

Im Rahmen von stadttypologischen Untersuchungen der kreisfreien Städte erweist sich eine weitere Durchdringung der strukturellen Beziehungen ökologischer Qualitätsniveaus mithilfe der Clusteranalyse als sinnvoll. Im Ergebnis werden Cluster identifiziert, deren Städte charakteristische Qualitätsniveaus und Eigenschaftsstrukturen aufweisen und somit auch die Möglichkeit der Beschreibung und Bewertung von Flächennutzungsstrukturen unter dem Qualitätsaspekt geben. Die Clusteranalyse schließt einen Methodenvergleich (Ward-Methode und Ranking-Methode) und Clustervarianten mit unterschiedlichen Variablen ein. Eine vergleichende Bewertung präferiert die Clustervariante „Ranking-Methode für 7 Variable“ als Vorzugsvariante. In dieser Variante finden die Kenngrößen Versiegelungsgrad, flächenspezifisches Grünvolumen und Wasserflächenanteil jeweils für Kernstadt und Umlandgemeinden sowie als funktionsräumliche Kenngröße das Grünflächenverbundmaß Berücksichtigung. Es werden fünf Städte-Cluster identifiziert, nach denen die kreisfreien Städte weitgehend normal verteilt sind. Die Häufigkeitsverteilung lässt eine grundsätzliche Interpretation zu: Vom Städte-Cluster I zum Städte-Cluster V nimmt die ökologische Qualität als Ausdruck städtischer Versiegelungs-, Grünvolumen- und Gewässerbedingungen in Kernstädten und deren Umlandgemeinden sowie des Grünflächenverbundes der Kernstädte zu.

Auf einer ordinalen Skala lassen sich 32 % der Städte (Cluster I und II) einer sehr niedrigen bis niedrigen und 28 % der Städte (Cluster IV und V) einer hohen bis sehr hohen stadtökologischen Qualität zuordnen. Eine mittlere ökologische Qualität weisen 40 % der kreisfreien Städte auf. Die Häufung von Ruhrgebietsstädten im Cluster I (Bochum, Duisburg, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Oberhausen) geht einerseits auf vergleichsweise hohe Versiegelungsgrade, geringe Waldflächenanteile und Grünflächenverbundmaße in den Kernstädten zurück und wird andererseits durch verstädterte Umlandgemeinden verursacht. In der Städte-Agglomeration Ruhrgebiet sind die Städte häufig sowohl Kernstadt als auch Umlandgemeinde. Die sehr hohe ökologische Qualität der Städte des Clusters V wird durch nutzungsstrukturelle und räumliche Stadtkenngrößen reflektiert. Beispielsweise liegen die Mittelwerte der einwohnerspezifischen Grünflächen- und Grünvolumenausstattung, des Wald- und Wasserflächenanteils sowie des Grünflächenverbundmaßes deutlich über denen der Cluster I bis IV.

Ansätze einer stadttypendifferenzierten entwicklungsstrategischen Orientierung

Ein weiteres Ergebnis stadttypologischer Untersuchungen sind clusterdifferenzierte Lagewerte (Mittel- und Extremwerte) von Kenngrößen der Flächennutzungsstruktur, der Flächennutzungsichte, des flächenspezifischen Grünvolumens, der einwohner-

spezifischen Grünflächen- und Grünvolumenausstattung, der räumlichen Grünflächenverteilung sowie der Flächenproduktivität in Form der flächenspezifischen Bruttowertschöpfung. Es gilt generell, dass die clusterdifferenzierten Mittelwerte der Kenngrößen Tendenzen abbilden, die in plausiblen Zusammenhängen mit der stadtökologischen Qualität stehen. In der Diskussion über Sicherung und Entwicklung der stadtökologischen Qualität können clusterdifferenzierte Mittelwerte als stadttypische Ausgangs- und Rahmenbedingungen gesehen werden, unter denen eine stadttypendifferenzierte entwicklungsstrategische Orientierung gegeben werden kann.

In einem ersten Schritt erfolgt die entwicklungsstrategische Orientierung durch so genannte „aufzeigende“ Mittelwerte, die aus den Mittelwerten der Kenngrößen der Städte-Cluster entwickelt werden. Aufzeigend sind die Mittelwerte deshalb, weil sie strukturelle Unterschiede sichtbar und messbar machen, die zwischen Städten mit mittlerem ökologischen Qualitätsniveau (Cluster III) und Städten mit niedrigem und hohem Qualitätsniveau (Cluster I, II und IV, V) bestehen. Die strategische Orientierung bezieht mit der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung, der städtebaulichen Dichte, der Grünausstattung von Freiflächen und der Flächenproduktivität sowie der differenzierten Nutzung von Brach- und Konversionsflächen ausgewählte Handlungsfelder der Flächennutzung ein.

1 Freiflächenentwicklung – Bestandteil einer Doppelstrategie der urbanen Innenentwicklung

Das Forschungs- und Handlungsfeld „Stadtinnenentwicklung“ war in den 1980er Jahren weitgehend ökologisch fokussiert und zielte auf die Dämpfung der mit den Stadterweiterungen einhergehenden Inanspruchnahmen von Freiflächen zu Siedlungs- und Verkehrszwecken und auf die Reduzierung damit verbundener Verluste des ökologischen Leistungsvermögens. Die Risiken der Innenentwicklung wurden insbesondere in den Qualitätsverlusten der städtischen Umwelt gesehen und sollten durch begleitende städtebauliche Ausgleichsmaßnahmen (beispielsweise Wand- und Dachbegrünung, Umgestaltung von Vegetationsflächen, Entsiegelung von Verkehrs- und Wegeflächen) vermieden werden (vgl. u. a. Albrecht, Bartfelder 1988).

Die gegenwärtige gesellschaftliche Bedeutung des Forschungs- und Handlungsfeldes „urbane Innenentwicklung“ ist wesentlich auf die in den 1990er Jahren forcierte funktionsräumliche Trennung der Unternehmen und die in Ostdeutschland nach dem Strukturbruch von 1989 einsetzende Suburbanisierung des Wohnens und Arbeitens zurückzuführen. Aus diesen Stadtentwicklungsprozessen gingen nutzungsstrukturelle Veränderungen hervor, die neben der ökologischen Sicht auf die ungebrems-te Flächeninanspruchnahme verstärkt auch wieder die ökonomischen – insbesondere volkswirtschaftlichen – Argumente für die urbane Innenentwicklung ins Blickfeld rücken. Die Auflösung funktionsfähiger Flächennutzungsstrukturen der Städte und die Ablösung der gewachsenen kleinteiligen Angebotsstruktur durch großflächige Einrichtungen im Umland führen zu dispersen Siedlungsstrukturen mit deutlicher Kapazitätserweiterung der technischen Infrastruktur und damit zur Verstädterung des Umlandes der Kernstädte. Diese nutzungsstrukturelle Entwicklung der Städte korrespondiert mit einer flächen- und verkehrsintensiven Lebens- und Wirtschafts-weise, die wegen ihrer negativen externen Effekte zunehmendes gesellschaftliches Interesse finden. Im Mittelpunkt stehen insbesondere die externen Kosten des Verkehrs, beispielsweise durch stoffliche und energetische Belastungen der Umwelt, durch Trennwirkung und Stau (vgl. u. a. Becker et al. 2000), aber zunehmend auch die externen Kosten der Flächennutzung. Letztere verursachen bei Dritten negative Wirkungen, die vom Markt-Preis-System nicht erfasst werden. Dies trifft grundsätzlich auf die Nutzungen zu, die natürliche Flächenleistungen (beispielsweise den bioklimatischen Ausgleich, die Niederschlagswasserversickerung, die Staubbindung) einschränken (Billing, Weise 2001, 93 ff.). Aus dieser Sicht verursachen sowohl das Siedlungs- und Verkehrsflächenwachstum als auch disperse Siedlungsstrukturen beispielsweise durch Versiegelung und funktionsräumliche Trennung Einschränkungen ökologischer Leistungen, die aufgrund der ungenügenden bzw. fehlenden öko-

nomischen Inwertsetzung keine verursachergerechte Kostenzurechnung erfahren und mit Einbußen der ökologischen Lebensraumqualität verbunden sind. Insbesondere die klimatischen und lufthygienischen Qualitätseinbußen lassen in der entwicklungsstrategischen Orientierung einiger Großstädte einen Wandel hin zu höherer Wertschätzung der Frei- und Vegetationsflächen im Planungsgeschehen erkennen (Landeshauptstadt München 1998; Pillmann, Kellner, Klar 2001). Die Sicherung und Entwicklung der ökologischen Lebensraumqualität in Städten und Stadtregionen ist an ausgewogene ökologisch-ökonomische Konfliktlösungen sowie an die Instrumentierung der Flächennutzung gebunden.

Ausgewählte Lösungswege und Instrumente sind zu sehen

- in der ökonomisch korrekten Bewertung von Flächennutzungskonkurrenzen und in der Anwendung marktkonformer Instrumente (Billing, Weise 2001; Billing 2001),
- im Schutz nicht substituierbarer ökologischer Leistungspotenziale der Fläche in Form der Formulierung und Anwendung von Normen für eine ökologische Mindestausstattung (Minimum-Standards) (Meurer et al. 2001),
- in der innerstädtischen Freiflächenentwicklung sowohl durch Rückgewinnung als auch Qualifizierung und Vernetzung städtischer Vegetationsflächen (Arlt et al. (Hrsg.) 2003).

Die innerstädtische Freiflächenentwicklung als integratives Element der bestandsorientierten Innenentwicklung (Müller et al. 2001) wird zukünftig neben der Freiflächensicherung einen weiteren Schwerpunkt auf die Qualifizierung städtischer Vegetationsflächen setzen müssen. Die Qualifizierung schließt sowohl die Berücksichtigung standort- und nutzerspezifischer Anforderungen als auch die Einhaltung ökologischer Standards bei der funktionellen und vegetationsstrukturellen Gestaltung der Freiflächen ein. Die bestandsorientierte Innenentwicklung geht von folgenden Handlungsfeldern aus:

- **Baulückenschließung/Arrondierung:** Ziel ist die Erhöhung der städtebaulichen Dichte sowie die Abrundung der Gebiete gemäß § 34 BauGB. Baulücken befinden sich in einem Bebauungszusammenhang an einer Straße, d. h. bauliche Flächenwidmung und Erschließung sind vorhanden. Auch die bauliche Abrundung (Arrondierung) des Siedlungsraumes bedarf keines größeren Erschließungsaufwandes.
- **Nachverdichtung:** Zielt auf die Erhöhung der städtebaulichen Dichte bzw. Siedlungsdichte durch gebäudebezogene Maßnahmen (Gebäudeerweiterung, Neubau, Aufstockung und Dachgeschossausbau). Zu unterscheiden ist die auf einzelne Bauvorhaben beschränkte „geringe“ Nachverdichtung von der strukturellen Nachverdichtung, die planerische Konzepte für teilstädtische Bau- und Infrastrukturen mit höherer Dichte zugrunde legt.

- **Brachflächenrecycling:** Umnutzung und Wiedernutzung brach gefallener Industrie-, Gewerbeflächen, Verkehrsflächen, militärischer Liegenschaften sowie Dienstleistungsstandorte.

Vor dem Hintergrund einer andauernden Inanspruchnahme von Freiflächen zu Siedlungs- und Verkehrszwecken und der Freiraumdefizite in vielen Großstädten ist die bestandsbezogene städtebauliche Entwicklung an einer Doppelstrategie auszurichten.

Einerseits sind weitere Gebäude-, Betriebs- und Verkehrsflächen für eine ökonomische Nutzung im besiedelten Bereich zu mobilisieren. Andererseits sind die Freiflächen im besiedelten Bereich zu entwickeln, d. h. zurückzugewinnen, zu qualifizieren (standortspezifische Vegetationsschichten, Vegetationsanordnung, Nutzungs- und Pflegeintensität) und zu vernetzen (Abb. 1/01).

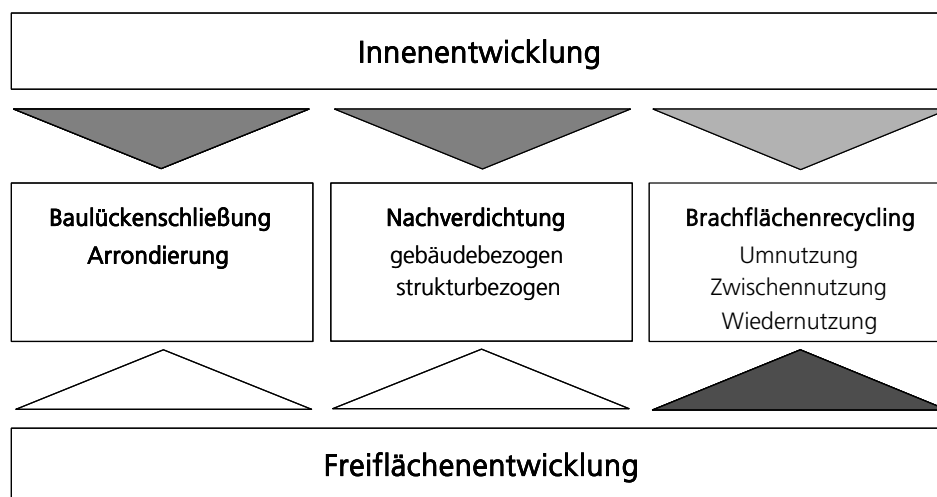


Abb. 1/01: Handlungsfelder und Doppelstrategie urbaner Innenentwicklung
(in Anlehnung an Müller et al. 2001, 5)

Vor dem Hintergrund des zyklischen Brachfallens von Flächen und des Brachfallens als Folge der Entleerung der Räume im Rahmen der demografischen und ökonomischen Schrumpfungsprozesse ist das Brachflächenrecycling als zentrale Strategie zur Verbesserung der stadtökologischen Qualität anzusehen. Das Brachflächenrecycling geht in der Regel mit der Überplanung der Brachfläche sowie der Schaffung neuer Baurechte einher und schließt damit grundsätzlich eine differenzierte Flächennutzung – sowohl die bauliche als auch Grün- und Erholungsflächennutzung – ein. Aufgrund hoher Versiegelungsgrade sowie kleiner und weitgehend isolierter Freiflächen kann grundsätzlich nur ein primär stadtökologisches Verständnis von Brachflächenrecycling handlungsleitend sein. Sanierung und Überplanung von Brach- und Kon-

versionsflächen bieten weitreichende Möglichkeiten, städtische Freiflächen zurückzugewinnen, zu qualifizieren und zu vernetzen. Zielführende Maßnahmen in diesem Zusammenhang sind:

- die Entsiegelung von Brachflächen durch Rückbau von Gebäuden und Erschließungsanlagen und die Schaffung vegetationsbestandener Freiflächen,
- die standortspezifische Ausrichtung der Ausstattung der Vegetation, deren Schichtung, Nutzung und Pflege,
- die Vernetzung und Entwicklung von Frei- und Vegetationsflächen unter den Maßgaben der Erweiterung des Grünflächensystems und Stärkung des Biotopverbundes.

Die bestandsorientierte Innenentwicklung zeigt negative Effekte, wenn sie nicht von einer an den Freiraumbedürfnissen der Innenstadtbevölkerung orientierten Planung begleitet ist. In diesem Zusammenhang können innerstädtische Brachflächen wichtige ökologische und soziale Ausgleichsfunktionen erfüllen und wohnungs- und siedlungsnaher Erholungsflächen darstellen, die entsprechend rechtlich gesichert sein sollten. Die Inanspruchnahme von Brachflächen im Innenbereich zur baulichen Verdichtung sollte an ausreichend vorhandene Grün- und Erholungsflächen gebunden sein (Rebele 2003, 72).

Das Brachflächenrecycling mit seiner zentralen Bedeutung muss im Rahmen der urbanen Innenentwicklung in der integrierten Stadtentwicklung verankert und interkommunal abgestimmt werden. Es bedarf sowohl bauordnungs- und planungsrechtlicher Erleichterungen als auch Investitionserleichterungen in Form finanzieller Förderung und Bodenpreisstützung.

2 Flächennutzungsstruktur – Schlüsselfaktor der stadtökologischen Qualität

Die stadtökologische Qualität ist Teil der Umweltqualität. Sie ist das Maß der Abweichung des städtischen Umweltzustandes von gesellschaftlichen Zielvorgaben für den Umwelt- und Naturschutz. Die Bewertung der stadtökologischen Qualität wird sowohl neben die Bewertung der Immissionsschutzqualität aufgrund der stofflichen, energetischen und informationellen Belastung der Umwelt als auch neben die Bewertung von Landschafts- und Biotopqualität gestellt (Arlt et al. 2002, 9).

Der Umweltzustand ist Ausdruck der strukturellen (Ausstattung mit Biotopen und deren Struktur und Vielfalt) und funktionellen Bedingungen (ökologisches Leistungsvermögen) von Städten und Stadtregionen sowie Ausdruck der gesellschaftlichen Lebensbedingungen und damit ein bedeutender Faktor der städtischen Lebensqualität. Der Umweltzustand wird mithilfe von Indikatoren, beispielsweise der Bodenversiegelung, des Grünvolumens und der Baumassenzahl, gemessen.

Die städtische Lebensqualität wird neben den aus dem Umland angeeigneten Flächenleistungen¹ grundlegend durch die Gesamtheit ökonomischer, sozialer und ökologischer Leistungen bestimmt, die auf städtischen Flächen erzielt werden. Wichtige Leistungsträger sind die Böden und deren Vegetation mit Einfluss auf Klima, Lufthygiene, Wasserhaushalt und naturbetonte Biotope sowie mit Bedeutung für Gesundheit, Ernährung und Erholung der städtischen Bevölkerung. Die Leistungen der Böden werden auf den politisch-administrativen Handlungsfeldern in der Regel flächenspezifisch gemessen und weisen eine deutliche Abhängigkeit von der Flächennutzung auf.

Die städtische Flächennutzungsstruktur als räumliches Ordnungsgefüge von Flächen unterschiedlicher Nutzungsarten erweist sich dabei als signifikanter Einflussfaktor auf Flächenleistungen und städtische Lebensqualität, die eine wesentliche Prägung durch die stadtökologische Qualität erfährt. Das ökologische Leistungsvermögen der Städte ist maßgebend auf ökologische Leistungen zurückzuführen, die von Freiflächen erbracht werden. Die „Freiflächen unserer Städte und um unsere Städte herum“ bezeichnet Finke (1993, 332) als die eigentlichen ökologischen Leistungsträger und trifft die Feststellung, dass „die ökologische Qualität einer Stadt mit ihren Freiflächen,

¹ Flächenleistungen sind der Grad der Erfüllung von Funktionen im Rahmen der Flächennutzung (Arlt et al. 2001). Die Stadt nutzt die produktiven und assimilativen Flächenleistungen ihrer Umlandgemeinden. Sie gewährleistet weder dass das Umland wertäquivalent entschädigt wird noch dass die Ressourcen nachhaltig genutzt werden (Gutmann et al. 1995).

deren Anteil und räumlichem Verteilungsmuster steht und fällt“. Damit weist Finke auf Zusammenhänge zwischen Flächennutzungsstruktur und ökologischer Qualität hin. Stadtökologische Qualität ist damit ein flächenleistungsabhängiges Phänomen der Umweltqualität im städtebaulichen Raum, das in Wirkungsbeziehungen zu städtischen Prozessen und Strukturen, insbesondere der Flächennutzung steht.

Das Wissen über die Wirkungsbeziehungen eröffnet zugleich aber auch die Möglichkeit der nutzungsstrukturellen Einflussnahme auf die stadtökologische Qualität. Wesentliche Ziele bestehen in der Erhöhung der innerstädtischen Lebensraumqualität und in der Minderung der ökologischen Risiken der Städte. In diesem Kontext stehen der Forschungs- und Entwicklungsbedarf nach Bewertungsgrundlagen für die verschiedenen Formen ökologischer Raum- und Siedlungsstrukturen. Sie sind auf der Grundlage geeigneter Indikatoren u. a. für die ökologischen Leistungen von Städten zu entwickeln. Die Bedarfsdeckung erfordert die Beantwortung planungsrelevanter und entwicklungsstrategischer Fragestellungen, beispielsweise nach

- Art und Maß des Einflusses von Flächennutzungsstrukturen auf die vegetationsstrukturellen Bedingungen der Städte,
- kommunalen Basisindikatoren zur Beschreibung des Grades der Erfüllung ökologischer Funktionen von Freiflächen,
- nutzungsstrukturellen und ökologischen Rahmenbedingungen der Städte und daraus abzuleitenden nutzungsstrukturellen Orientierungen.

Flächennutzungsstrukturen sind durch die spezifischen Standortansprüche der Akteure (Haushalte, Unternehmen und öffentliche Hand) und durch die gesellschaftlichen Koordinationsmechanismen determiniert, mit denen Fläche verteilt wird. Die Flächennutzungsforschung und ihre Ableitungen liegen im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit verschiedener Fachdisziplinen (vgl. Bökemann 1994, 207; Zigray 1989, 313; Schubert 1991, 468; Huber 1992, 68).

Flächennutzung wird als physische und formelle Beanspruchung eines Raumausschnittes definiert. Elemente und Beziehungen sind die wesentlichen Merkmale von Strukturen. Im planungspraktischen und administrativen Gebrauch wird Flächennutzungsstruktur aber häufig auf statistische Kenngrößen, d. h. auf die Elemente des Ganzen reduziert. Es sind dies in der Regel Kenngrößen der

- Flächennutzungsanteile, beispielsweise Anteile der Siedlungs- und Verkehrsfläche, Betriebsfläche, Waldfläche an definierten Bezugsflächen,
- Flächennutzungs-dichte, beispielsweise die flächenspezifische Einwohnerzahl und flächenspezifische Straßen- bzw. Streckenlänge,
- Flächenausstattung, beispielsweise die einwohnerspezifische Ausstattung mit Erholungs- bzw. Grünflächen.

Die zugrunde gelegte Definition der Flächennutzungsstruktur erweitert die bisher weitgehend üblichen Flächenbilanzen zur Beschreibung der Nutzungsstruktur um raumbezogene Bestimmungsfaktoren wie Vernetzung und räumliche Verteilung der Einzelflächen. Auf die Bedeutung raumbezogener Bestimmungsfaktoren, insbesondere bei der Einschätzung der ökologischen Leistungen grün bestimmter Freiräume und bei der stadtökologischen Flächenbewertung, verweisen Finke (1993, 332) und Singer (1995, 40). Zugleich wird hervorgehoben, dass Verfahren zur stadtökologischen Freiflächenbewertung, die Liegenschaftskatasterdaten verwenden, eine inhaltlich begrenzte Reichweite haben. Deshalb wären weitere Untersuchungen wünschenswert, in denen die Anteile der Bestimmungsfaktoren Größe, Lage, räumliches Umfeld sowie individuelle Ausgestaltung der Fläche an der stadtökologischen Freiflächensituation präzisiert werden (Singer 1995, 40).

Die stärkere Beachtung des räumlichen Beziehungsgefüges von Grünflächen findet in der vorliegenden Forschung ihren Ausdruck in den empirischen Untersuchungen städtischer Grünmuster auf der Grundlage punkt-, linien- und flächenhafter Formmaße. Als Kenngrößen zur Beschreibung des räumlichen Ordnungsgefüges städtischer und stadtreionaler Grünflächen werden das Isolationsmaß, das Lakunaritätsmaß und ein Verbundmaß diskutiert (Abschnitte 4 und 9).

3 Grünflächen und Grünvolumen – Elemente des Objektraumes Stadt

In der Stadtforschung wird der städtische Lebensraum häufig als Objektraum mit Bezug auf zwei- und dreidimensionale Elemente, deren Gestalt, Funktion und Lageeigenschaften untersucht. Diese Abstraktion erleichtert die Identifizierung struktureller Muster als Ausdruck der Art, des Maßes und des räumlichen Ordnungsgefüges der Elemente sowie struktureller Beziehungen zum sozialen, ökonomischen und ökologischen Zustand des Lebensraumes.

Der ökologische Zustand steht mit ausgewählten Elementen des Objektraumes Stadt in signifikanten Beziehungen. Auf den mittelmaßstäbigen Raumebenen Stadt und Stadtregion sind die zweidimensionalen Elemente „Versiegelte Fläche“, „Grünfläche“, „Offene Fläche“, „Wasserfläche“ sowie die dreidimensionalen Elemente „Vegetation“ und „Gebäude“ in ihrer Gestalt und funktionsräumlichen Verteilung von hoher Aussagesignifikanz für die klimatische und lufthygienische Situation, aber auch für den Wasserhaushalt. Dabei sind Gestalt und funktionsräumliche Verteilung Ausdruck der aus der Lebens-, Arbeits- und Wirtschaftsweise hervorgehenden Flächennutzung.

Die Untersuchung über die Wirkungsbeziehungen zwischen Flächennutzung und der Grünflächen- und Grünvolumensituation² in Städten und Stadtregionen setzt eine wirkungsanalytische Forschung über Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf die Bodenversiegelung fort (Arlt et al. 2001). Dieser Forschung liegt ein Objektraum mit ausgewählten Elementen zugrunde (Abb. 3/01).

Ein weiterer Gegenstand ist die clusterdifferenzierte Entwicklung von Kenngrößen als Orientierungswerte sowie zur Beurteilung der Grünflächen- und Grünvolumensituation von Städten und Stadtregionen. Dabei werden die Kenngrößen „Grünflächenanteil“ und „Spezifisches Grünvolumen“ differenziert nach den Vegetationschichtungen „niedrig“, „mittel“, „hoch“ zugrunde gelegt und im Rahmen einer vegetationsstrukturellen Analyse für die kreisfreien Städte Deutschlands bestimmt. In den sich anschließenden stadtypologischen Untersuchungen sollen mithilfe von Clusteranalysen und Städtevergleichen stadtypische „aufzeigende“ Mittelwerte als Grundlage einer stadtypendifferenzierten strategischen Orientierung der Stadtent-

² Grünfläche und Grünvolumen sind planungspraktische Begriffe mit inhaltlichen Bezügen zu den Begriffen Vegetation (Gesamtheit der Pflanzengesellschaften eines Gebietes, also der Pflanzengruppen an einem Standort mit ähnlichen ökologischen Ansprüchen und charakteristischen Artenkombinationen) und Flora (Gesamtheit der Pflanzenarten eines Gebietes).

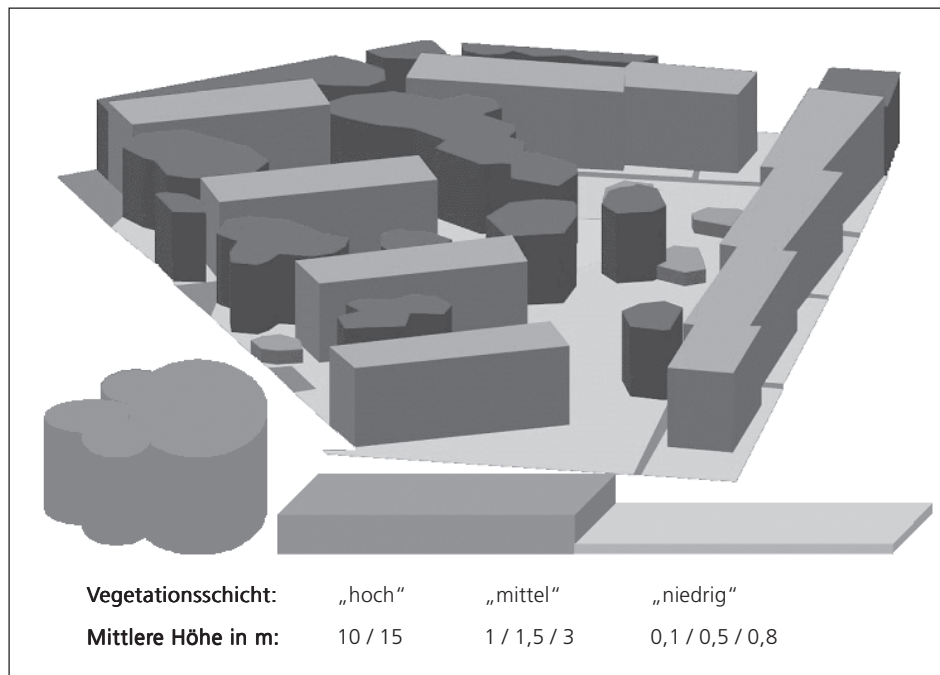


Abb. 3/01: Objektraum Stadt mit ausgewählten Elementen: „Versiegelte Fläche – ohne Gebäude“, „Grünflächen – niedrige Vegetation – mittlere Vegetation – hohe Vegetation“, „Gebäude“, „Wasserflächen“, „Offene Flächen“
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

wicklung gebildet werden. Des Weiteren sind auf der Grundlage der kenngrößen-spezifischen Lagewerte und Histogramme Maßstäbe und Skalen der Grünflächen-anteile, insbesondere aber des spezifischen Grünvolumens zur Beurteilung der Grün-flächen- und Grünvolumensituation zu entwickeln.

3.1 Stadtbiotoptypen und städtebauliche Strukturtypen – methodische Grundlagen der Kenngrößenbestimmung

Zentrale Bedeutung bei der Bestimmung von Grünflächenanteilen und Grünvolumen der kreisfreien Städte Deutschlands und deren Stadtregionen besitzen der Stadtbiotoptypen- und städtebauliche Strukturtypenansatz. Während Letzterer als methodisches Instrument zahlreicher Forschungsprojekte eine weitreichende Qualifizierung erfahren hat (vgl. Heber, Lehmann 1993, 1996; Arlt et al. 2001), musste im Rahmen des Forschungsprojektes ein untersuchungsspezifischer Stadtbiotoptypenansatz entwickelt und mit dem städtebaulichen Strukturtypenansatz GIS-basiert verknüpft werden (Abb. 3/02).

<p>Stadtbiotoptypenansatz Grundlage: Stadtbiotoptypkarte</p>	<p>Städtebaulicher Strukturtypenansatz Grundlage: Strukturtypenkarte Bekannte strukturtypspezifische Attribute:</p> <ul style="list-style-type: none"> – mittlerer Versiegelungsgrad in % – mittlerer ÖKO-Wert (dimensionslos) – Abflussbeiwert (dimensionslos)
<p>Biototypspezifische Attribute:</p> <ul style="list-style-type: none"> – niedrige Vegetation – mittlere Vegetation – hohe Vegetation – ohne Vegetation – mit Überbauung 	<p>Aus dem Stadtbiotoptypenansatz entwickelte strukturtypspezifische Attribute:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Flächenanteile in % <ul style="list-style-type: none"> • Vegetationsschicht „niedrig“ • Vegetationsschicht „mittel“ • Vegetationsschicht „hoch“ • ohne Vegetation • mit Überbauung – Spezifisches Grünvolumen in m^3/m^2 <ul style="list-style-type: none"> • Vegetationsschicht „niedrig“ • Vegetationsschicht „mittel“ • Vegetationsschicht „hoch“

Abb. 3/02: Methodische Grundlagen der Bestimmung gesamtstädtischer bzw. stadtreionaler Grünflächenanteile und Grünvolumen
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

3.1.1 Stadtbiotoptypenansatz

In grundlegenden Untersuchungen ist die Frage nach der geeigneten Kartengrundlage für die mittelmaßstäbige Analyse gesamtstädtischer Vegetationsstrukturen bzw. -volumen (M 1 : 25 000 bis 1 : 50 000) zugunsten der Stadtbiotoptypkarte beantwortet worden. Stadtbiotoptypen bilden das biologische Inventar ab und ermöglichen flächenspezifische Rückschlüsse auf ökologische Funktionen. Darüber hinaus bieten die Standards der Arbeitsgemeinschaft „Methodik der Biotopkartierung im besiedelten Bereich“ (Schulte et al. 1993) – trotz stadtspezifischer Anpassungen – eine gute Basis für vergleichende Betrachtungen von biotoptypspezifischen Vegetationsstrukturen unterschiedlicher Städte.

Die Datenerhebung auf Stadtbiotopebene zielt auf biotoptypspezifische Vegetationsstrukturen. Erhebungsmethodische Grundlagen sind:

- Vegetationsstruktur-Matrix (Abb. 3/03) mit den Merkmalen Vegetationsschichtung, Bewuchsanordnung, Nutzungs- und Pflegeintensität (Arlt et al. 2002, 18);
- Kartengrundlagen: Colorinfrarot (CIR) – Luftbilder und terrestrische Erkundungen (zur Identifizierung charakteristischer Vegetationsstrukturmerkmale, insbesondere zur Höhenstufenfestlegung der Vegetationsschichten), Stadtbiotoptypkarten Dresden 1993 und 1999 sowie Biototypenschlüssel, Biototypstrukturmerkmale.

Die vegetationsstrukturelle Analyse erfolgt für Repräsentanten (zwischen 4 und 14 Repräsentanten je Stadtbiototyp) und schließt die physiognomische Identifizierung von Flächen mit niedriger (≤ 1 m), mittlerer (≥ 1 m bis ≤ 3 m), hoher Vegetation (> 3 m) und von vegetationslosen Flächen (überbaute Flächen, sonstige versiegelte und offene Flächen, Wasserflächen) ein. Aus den Ergebnissen der Repräsentantenuntersuchungen sind biototypspezifische Kenngrößen in Form von Mittelwerten entwickelt worden (Abb. 3/03): Flächenanteile [%] der Vegetationsschichten niedrig, mittel, hoch sowie Anteile vegetationsloser Flächen und flächenspezifische Grünvolumen [m^3/m^2] differenziert nach Vegetationsschichten und für alle Vegetationsschichten.

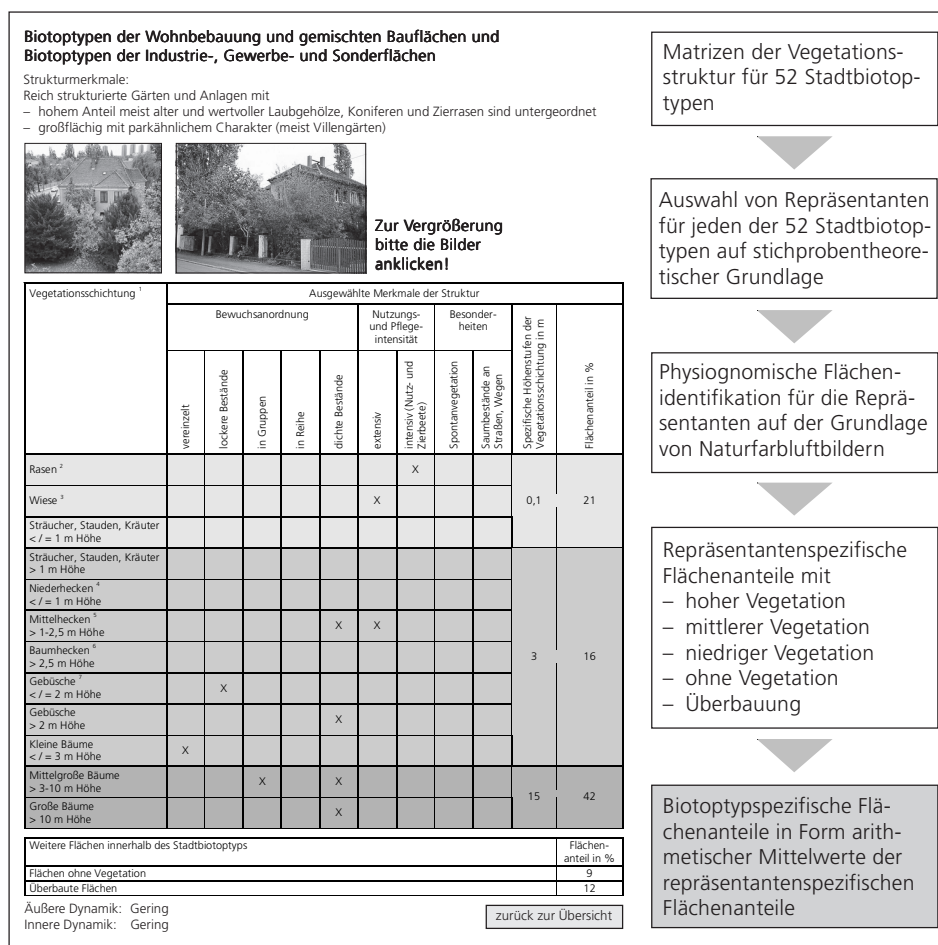


Abb. 3/03: Matrix der Vegetationsstruktur am Beispiel des Stadtbiototyps 1 (Wohnbebauung, gemischte Bauflächen, Industrie-, Gewerbe- und Sonderflächen) und schematischer Ablauf der vegetationsstrukturellen Analyse (Quelle: Arlt et al. 2002, 18 und CD-ROM)

Die Kenngrößen für Grünflächenanteile und Grünvolumen liegen für 52 charakteristische Stadtbiotoptypen vor (CD-ROM). Wesentliche Grundlage der vegetationsstrukturellen Analyse bilden die Biotoptypkarten der Stadt Dresden aus den Jahren 1993 und 1999 (Abb. 3/04).

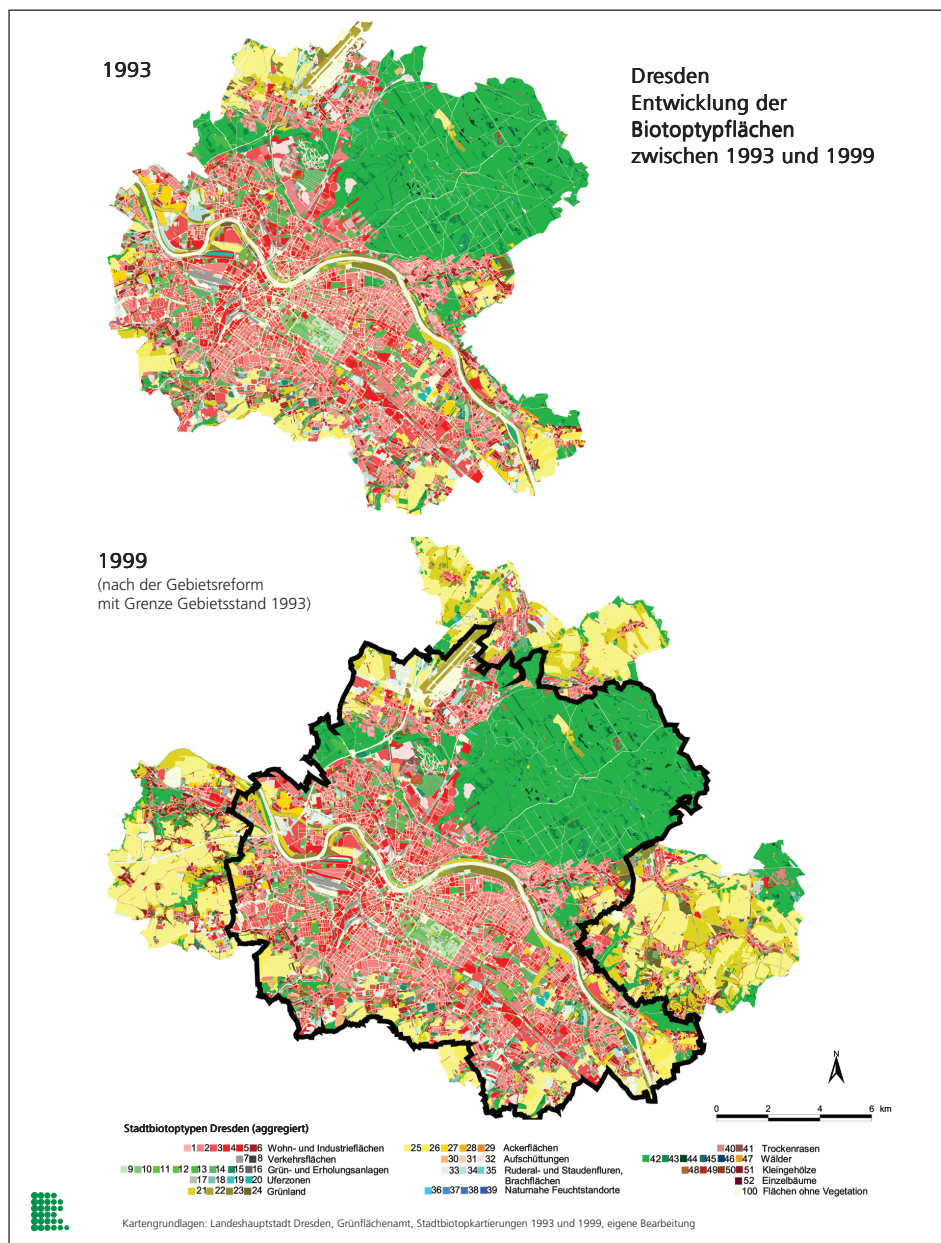


Abb. 3/04: Biotoptypkarten der Stadt Dresden in den Jahren 1993 und 1999 unter Berücksichtigung der Eingemeindungen 1997 und 1999 (Quelle: Arlt et al. 2003)

3.1.2 Städtebaulicher Strukturtypenansatz

Im Rahmen der IÖR-Forschung vergangener Jahre ist zum Thema Bodenversiegelung ein städtebaulicher Strukturtypenansatz entwickelt und qualifiziert worden (Heber, Lehmann 1993, 1996; Arlt et al. 2001)³. Dem Ansatz liegt die Annahme zugrunde, dass weitgehend homogene städtebauliche Strukturen charakteristische Vegetationsstrukturen ausbilden. Der Strukturtypenansatz basiert auf der Identifizierung und Beschreibung weitgehend homogener städtebaulicher Flächeneinheiten, die u. a. durch folgende Merkmale definiert sind: Bauform, Bebauungsstruktur, Bebauungsdichte, Lage in der Stadt, Erschließung und Topographie.

Der Strukturtypenansatz dient der Kartierung und der Schaffung einer geografischen Informationsbasis und folgt dem Prinzip der Flächengliederung nach Flächentypen mit jeweils einheitlicher Ausprägung der Umweltbedingungen. Die Flächengliederung zielt auf die Charakterisierung und ursachenbezogene Analyse der ökologischen Merkmale (Struktur, Funktion, Dynamik) des Stadtgefüges und seiner diesbezüglich als homogen identifizierten Flächeneinheiten. Des Weiteren ist die Flächengliederung auf die Integration von Daten und Forschungsergebnissen unterschiedlichen räumlichen und inhaltlichen Auflösungsvermögens orientiert, um sie einer räumlichen Bewertung zu erschließen. Der Strukturtypenansatz erfordert je nach räumlicher Betrachtungsebene unterschiedliche Maßstabsebenen. Für gesamtstädtische Fragestellungen sind Flächengliederungen größerer Dimension erforderlich. Insbesondere auf den mittelmaßstäbigen Untersuchungsebenen Stadt und Stadtregion erscheint die Zuordnung der Flächeneinheiten zu einer begrenzten Zahl von Strukturtypen zweckmäßig.

Die vegetationsstrukturelle Analyse der 116 kreisfreien Städte⁴ und deren Stadtregionen nimmt auf fünf städtebauliche Strukturtypen städtischer und gemeindlicher Siedlungsräume nach Heber, Lehmann (1993, 1996) sowie auf Freiraum- und Wasserflächen Bezug. Die vegetationsstrukturellen Kenngrößen der Freiraumflächen (nach Vegetationsschichten differenzierte Grünflächen und -volumen) sind auf der Grundlage der Bodenbedeckungsarten nach CORINE Land Cover⁵ – Nomenklatur (Ebene 3: Arten) und weitgehend vergleichbarer Stadtbiootypen entwickelt worden (Tab. 3/01, Anhang zum Abschnitt 3). Wasserflächen gehen als vegetationslose Flächen ein.

³ Unter besonderer Beachtung der Beiträge von Pauleit, Duhme 1999, Wickop 1999, Duhme, Pauleit 1992, Breuste 1987.

⁴ Die Untersuchungen wurden mit dem Gebietsstand 01.01.1997 geführt. Die Stadt Eisenach (Bundesland Thüringen), die am 01.01.1998 den Status kreisfreie Stadt erhielt, bleibt aufgrund der eingeschränkten Datenlage unberücksichtigt.

⁵ Nomenklatur der Bodenbedeckungen aus dem CORINE Land Cover (CLC)-Projekt für die Bundesrepublik Deutschland. In: Daten zur Bodenbedeckung (1996), Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Maßstab 1 : 100 000).

Die Kartierung städtebaulicher Strukturtypen des Siedlungsraumes sowie der Freiraum- und Wasserflächen liegt für die 116 kreisfreien Städte Deutschlands und deren Stadtregionen vor (Abb. 3/05 zeigt die Strukturtypenkarte der Stadtregion von Stuttgart).

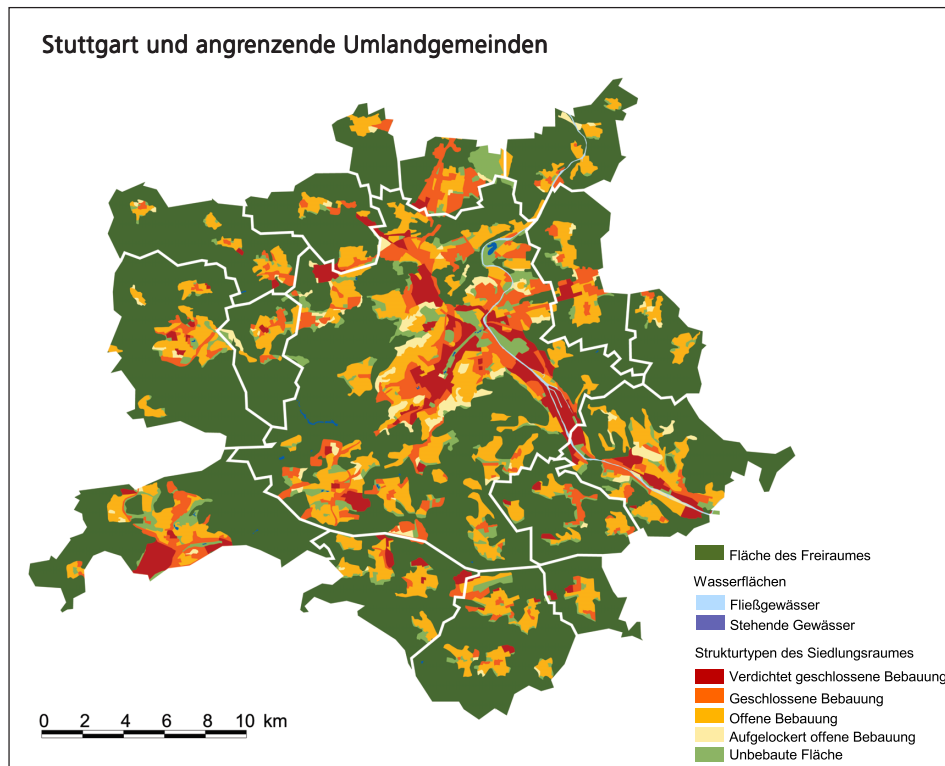


Abb. 3/05: Kartierung städtebaulicher Strukturtypen sowie der Freiraum- und Wasserflächen am Beispiel der Stadtregion Stuttgart (Quelle: Eigene Bearbeitung)

3.1.3 Stadtstrukturtypen statistischer Blöcke

Im stadtplanerischen Handeln erlangen aber auch die nach Nutzungs- bzw. Strukturtypen differenzierten digitalen Baublockkarten zunehmend Bedeutung (Richter, Grunicke, Böcker 2001; Kellner, Pillmann 2002). Bei der Bestimmung der ökologischen Kenngrößen „Grünflächenanteile“ und „Grünvolumen“ auf Blockebene kann bei mittelmaßstäbiger Betrachtung (z. B. bei der Einschätzung des Vegetationsvolumens aller städtischen Wohngebiete) grundsätzlich der Stadtbioptypenansatz zur Anwendung gelangen (Arlt, Hennersdorf 2003). Dabei werden durch Verschneiden von Stadtbiotop- und Baublockkarte die vegetationsstrukturellen Attribute der Biotopflächen auf die Baublockflächen übertragen.

3.1.4 Kartengrundlagen

Die vegetationsstrukturelle Analyse ist auf folgenden Kartengrundlagen durchgeführt worden:

- Städtebauliche Strukturtypenkarten der 116 kreisfreien Städte Deutschlands (Kartenfortführung zwischen 1992 und 1998); Maßstäbe 1 : 25 000 und 1 : 50 000 (Arlt et al. 2001),
- Bodenbedeckungskarten nach CORINE Land Cover 1995 der 116 kreisfreien Städte Deutschlands; Maßstab 1 : 100 000,
- Stadtbiooptypkarten Dresden 1993 und 1999; Maßstab 1 : 5 000,
- Naturfarbluftbild Dresden 1999; Maßstäbe 1 : 1 000 bis 1 : 2 000,
- Statistische Blockkarte Dresden 2000; Maßstab 1 : 500.

3.1.5 Vegetationsstrukturelle Analyse teilstädtischer Gebiete

Die in den Abschnitten 3.1.1 bis 3.1.4 dargestellten methodischen Grundlagen nehmen grundsätzlich auf die mittelmaßstäbigen Raumebenen Kernstadt und Stadtregion Bezug. Aus planungspraktischer Sicht stellt sich die Frage nach den Grenzen und Möglichkeiten der Anwendung auf den großmaßstäbigen Raumebenen, beispielsweise des Stadtteils oder Quartiers. Erste qualitative Einschätzungen ermöglicht eine vegetationsstrukturelle Analyse für den Stadtteil Dresden-Weißeritz, die im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitung des „Integrierten Stadtteilentwicklungsprojektes Weißeritz“ durchgeführt wurde (Heber 2003). Der GIS-gestützten vegetationsstrukturellen Analyse lagen die physiognomische Identifizierung der Grünflächen des Stadtteiles (Abb. 3/06) sowie die Biotoptypenkarten, städtebaulichen Strukturtypenkarten und die Strukturtypenkarten der statistischen Blöcke zugrunde. Im Ergebnis liegen stadtteilbezogene Kenngrößen für Grünflächenanteile und flächenspezifische Grünvolumen vor, deren Aussagegenauigkeit an den physiognomisch identifizierten Grünflächenanteilen und flächenspezifischen Grünvolumen gemessen werden kann.

Die vergleichende Bewertung der Analyseergebnisse verdeutlicht, dass eine hinreichende Aussagegenauigkeit mit dem Biotoptypenansatz und dem Strukturtypenansatz statistischer Blöcke erzielt wird. Der städtebauliche Strukturtypenansatz erwies sich für die Bestimmung der Grünflächenanteile und des flächenspezifischen Grünvolumens dieses Stadtteils als weniger geeignet.

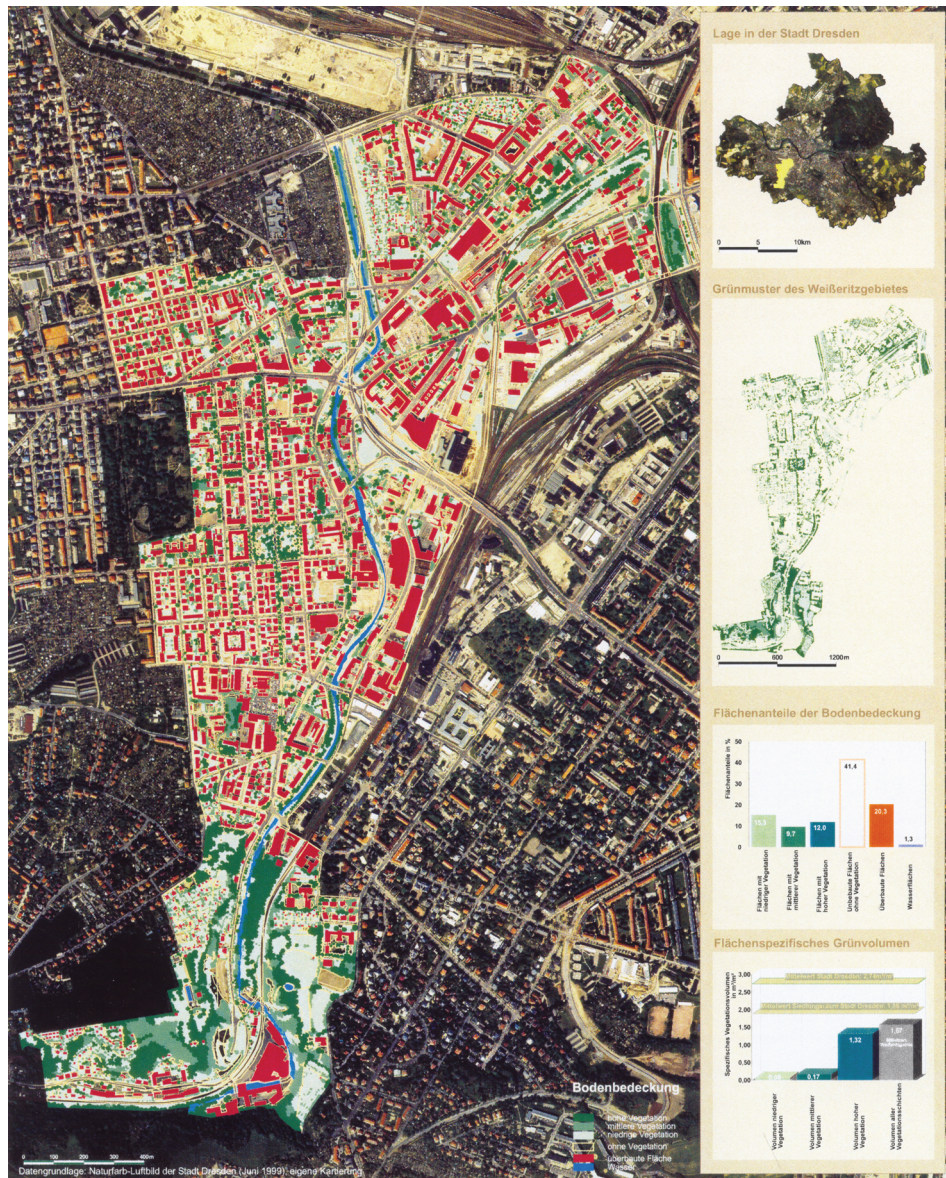


Abb. 3/06: Vegetationsstrukturelle Analyseergebnisse des Stadtteils Dresden/Weißeritzgebiet (Quelle: Eigene Bearbeitung)

3.1.6 Korrektur des Grünvolumens unter Beachtung der Baumkronenform

Die vegetationsstrukturelle Analyse schließt die Ermittlung von Grünvolumen der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ ein. Sie stützt sich auf den von Großmann, Pohl, Schulze (1984) für großmaßstäbige Untersuchungen entwickelten Berechnungsansatz, in dem Rasen und Sträucher mit unterschiedlichen Höhen als Quader sowie Bäume als Kugel, Kegel oder in der Kombination von Kugel und Zylinder berechnet werden (Abb. 3/07).

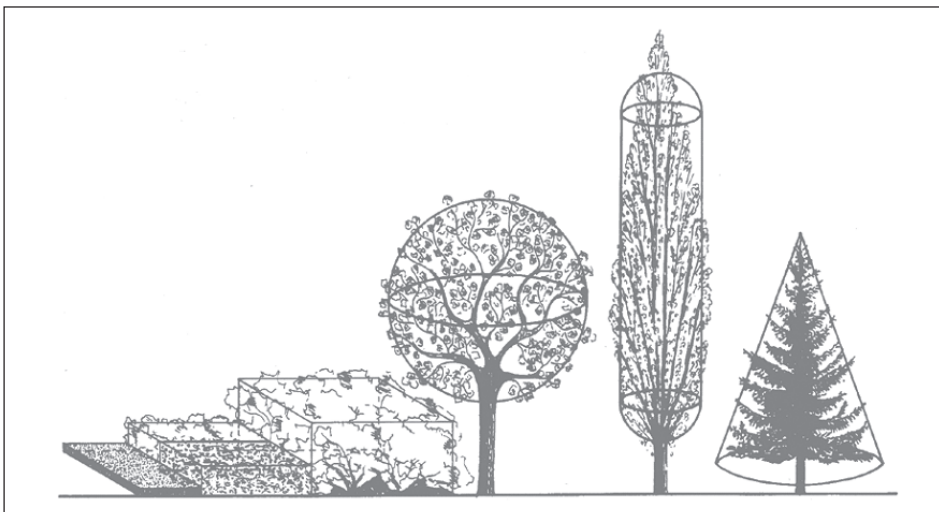


Abb. 3/07: Schematische Körperberechnung der Grünvolumen von Rasen-, Strauch- und Baumfluren
(Quelle: Großmann, Pohl, Schulze 1984)

Auf den mittelmaßstäbigen Raumebenen Stadt und Stadtregion kann die Einzelbestimmung von Bäumen nicht vorgenommen werden. Das Grünvolumen wird differenziert nach den Vegetationsschichten „niedrig“ (Rasen, Wiesen, Sträucher, Stauden, Kräuter geringer Höhe), „mittel“ (Sträucher, Stauden, Kräuter, Hecken, Gebüsche und kleine Bäume) und „hoch“ (mittlere und hohe Bäume) als Produkt der Grundflächen der Vegetationsschichten und ihrer Höhen ermittelt (Abb. 3/01). In dieser Abstraktion wird Bäumen die Zylinderform zugeordnet. Die Berechnung auf Zylinderbasis führt zu unzutreffend hohen Baumvolumen. Die Grünvolumenberechnung nimmt deshalb für die Vegetationsschicht „hoch“ eine Kronenform-Korrektur vor, bei der ein Korrekturfaktor in Form der Verhältniszahl des kugel-, kegel- und zylinderförmigen Baumkronenvolumens zum Zylindervolumen Berücksichtigung findet (Abb. 3/08). Die Anteile der Kronenformen am Baumbestand der Vegetationsschicht „hoch“ liegen differenziert nach Biotoptypen vor (Tab. 3/05, Anhang zum Abschnitt 3).

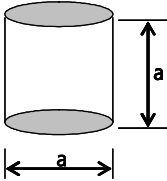
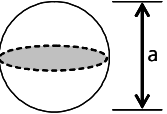
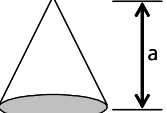
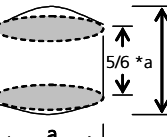
Zylinder	 $= \pi * a^3 / 4$
Abstrahierte Kronenformen	
Kugel (Laubbäume)	 $= \pi * a^3 / 6$ Faktor → 0,67
Kegel (Nadelbäume)	 $= \pi * a^3 / 12$ Faktor → 0,33
Zylinder mit Schalen (Laubbäume)	 $= \frac{\pi * a^2}{432} (a+1)$ Faktor → 0,91

Abb. 3/08: Überschlägige Berücksichtigung der Kronenformen von Bäumen in der Vegetationsschicht „hoch“ in Form von Verhältniszahlen zum Zylinder
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

3.2 Typspezifische Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen differenziert nach Vegetationsschichtung

Ein grundlegendes Forschungsergebnis liegt mit der Bestimmung von Kenngrößen der Grünflächenanteile und spezifischen Grünvolumen als Attribute der Stadtbiotop-typen, der städtebaulichen Strukturtypen und der Stadtstrukturtypen statistischer Blöcke vor. Eine zusammenfassende Kenngrößenübersicht enthält die anliegende CD-ROM.

Die **Grünflächenanteile** an der Stadt- bzw. Stadtregionsfläche schließen alle vegetationsbestandenen städtischen und stadtreionalen Flächen des Freiraumes gemäß Tabelle 3/01 (Anhang zum Abschnitt 3) und Freiflächen des Siedlungsraumes ein. Zu den Freiflächen des Siedlungsraumes gehören:

- Friedhofsflächen,

- Flächen mit Verkehrsbegleitgrün,
- Erholungsflächen,
- Gebäude- und Freiflächen mit Hofräumen, Vorgärten, Hausgärten, Grünflächen, Spielplätzen.

Die Grünflächenanteile liegen differenziert nach der Vegetationsschichtung⁶ vor:

- „niedrig“: Rasen, Wiese, Sträucher, Stauden, Kräuter in einer Höhe von ≤ 1 m,
- „mittel“: Niederhecken, Mittelhecken, Baumhecken, Gebüsche, kleine Bäume zwischen > 1 m und ≤ 3 m,
- „hoch“: mittelgroße und große Bäume > 3 m.

Sie wurden sowohl für die Vegetationsstruktur der 52 Stadtbioptypen (Tab. 3/02, Anhang zum Abschnitt 3) als auch für die Strukturtypen differenziert nach Siedlungsraum und Freiraum (Tab. 3/03, Anhang zum Abschnitt 3) und für die Stadtstrukturtypen der statistischen Blöcke ermittelt (Tab. 3/04, Anhang zum Abschnitt 3).

Das **spezifische Grünvolumen** wird als flächenspezifisches mittleres Volumen der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ definiert. Bezugsflächen sind die Stadtfläche bzw. die Fläche der Stadtregion. Das spezifische Grünvolumen beschreibt als theoretischer Wert für eine vollständig mit Vegetation bestandene Fläche die mittlere Höhe der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“. Eine vergleichbare Kenngröße ist die „Volumenäquivalenthöhe“ (Feldkötter 1994), die von Beisch (1998, 132) zur Charakterisierung von Baustrukturtypen differenziert nach Wohnbebauung, Industrieflächen, Parkanlagen, Brachflächen und Friedhöfen entwickelt wurde. Das flächenspezifische Baumvolumen stellt darüber hinaus eine einfache und zuverlässige Richtlinie für die Behandlung von Bäumen, beispielsweise mit Fungiziden dar (Rüegg, Viret 2002, 262).

Im Rahmen der Untersuchung wurden das durchschnittliche spezifische Grünvolumen der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“, „hoch“ und das durchschnittliche spezifische Grünvolumen insgesamt für die 52 Stadtbioptypen (Tab. 3/05, Anhang zum Abschnitt 3), für die Strukturtypen der Siedlungs- und Freiräume (Tab. 3/06, Anhang zum Abschnitt 3) sowie für die Stadtstrukturtypen der statistischen Blöcke (Tab. 3/07, Anhang zum Abschnitt 3) ermittelt.

Die Lagewerte (Maximum und Minimum) des flächenspezifischen Grünvolumens in den Vegetationsschichten enthält Tab. 3/08 (Anhang zum Abschnitt 3) differenziert nach Stadtbioptypen, städtebaulichen Strukturtypen und Stadtstrukturtypen der statistischen Blöcke. Während die Bandbreiten in der Vegetationsschicht „niedrig“

⁶ Die Vegetationsschichtung schließt eine biotypspezifische Höhendifferenzierung ein: „niedrig“: 10 cm, 50 cm, 80 cm; „mittel“: 100 cm, 150 cm, 300 cm; „hoch“: 10 m, 15 m (Arlt et al. 2002, 23).

bei Biotop- und Strukturtypen ähnlich sind, fallen insbesondere in der Vegetationsschicht „hoch“ die Unterschiede in den Bandbreiten zwischen Biotop- und Strukturtypen ins Auge. Die Unterschiede sind auf den seltenen Stadtbiototyp „ausgeprägte Waldsäume“ zurückzuführen, der innerhalb der städtebaulichen bzw. Stadtstrukturtypen als eine sehr kleine Teilfläche eingeht.

Beispiele für typspezifische Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen enthalten die Abbildungen 3/09 bis 3/11. Die Zusammenfassung aller typspezifischen Kenngrößen enthält die anliegende CD-ROM.

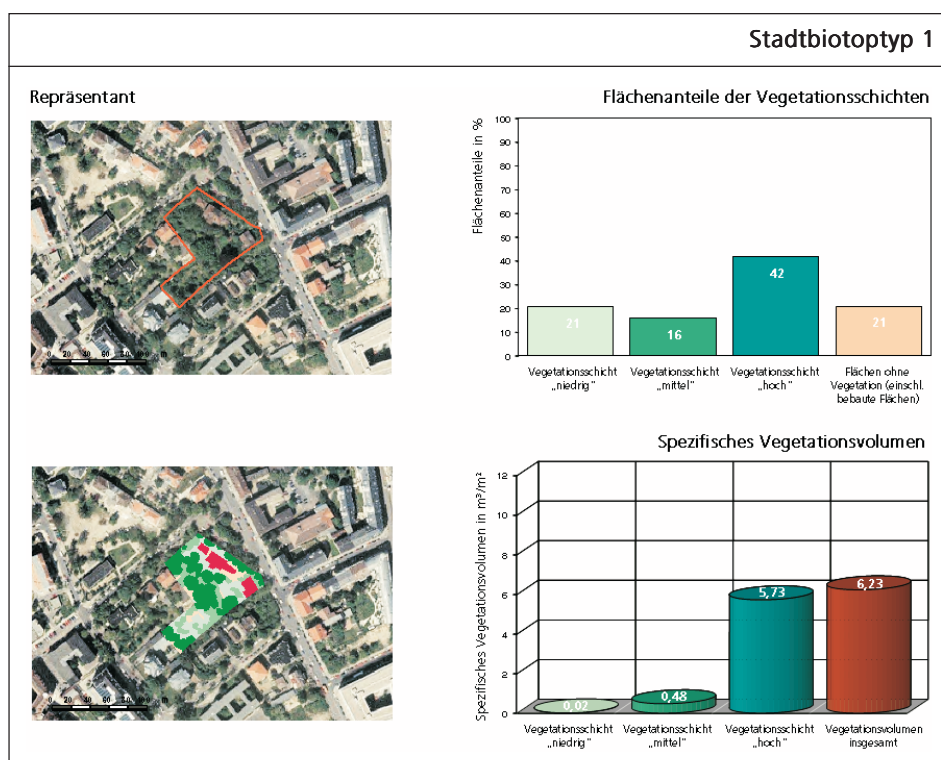


Abb. 3/09: Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen von Stadtbiototypen – Beispiel Stadtbiototyp 1: Wohnbebauung, gemischte Bauflächen, Industrie-, Gewerbe- und Sonderflächen
(Quelle: Eigene Bearbeitung, Kenngrößen aller Biototypen enthält die anliegende CD-ROM)

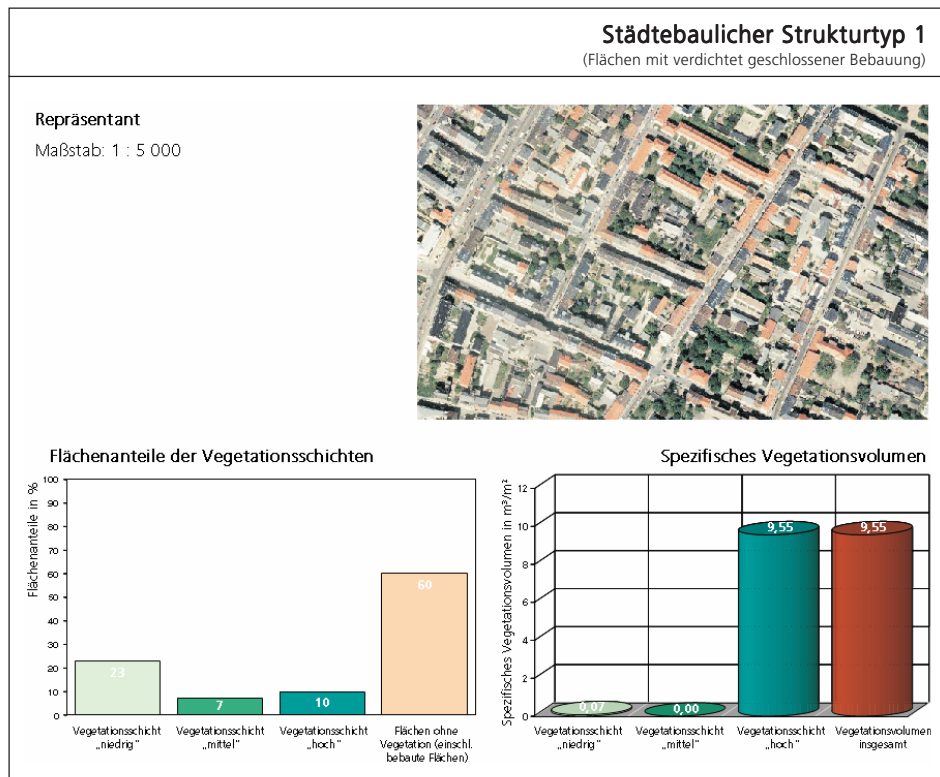


Abb. 3/10: Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen städtebaulicher Strukturtypen – Beispiel Städtebaulicher Strukturtyp 1: Flächen mit verdichtet geschlossener Bebauung
(Quelle: Eigene Bearbeitung, Kenngrößen aller städtebaulichen Strukturtypen enthält die anliegende CD-ROM)

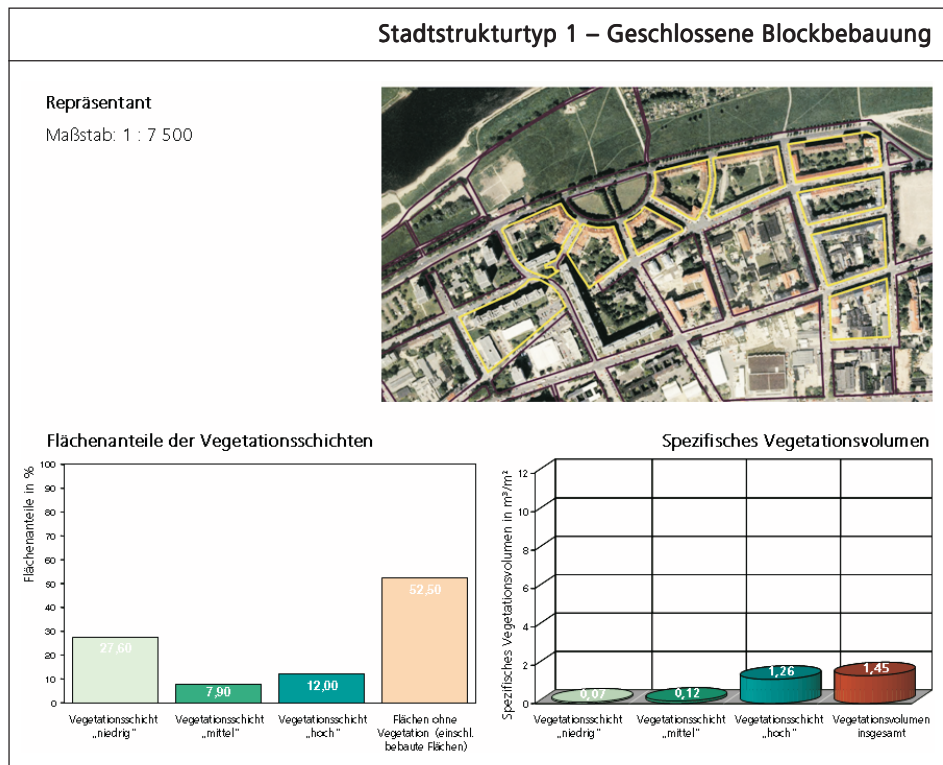


Abb. 3/11: Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen der Stadtstrukturtypen statistischer Blöcke – Beispiel Stadtstrukturtyp 1: Flächen mit geschlossener Blockbebauung
(Quelle: Eigene Bearbeitung, Kenngrößen aller Stadtstrukturtypen statistischer Blöcke enthält die anliegende CD-ROM)

Anhang zum Abschnitt 3*Tab. 3/01: Gliederung städtischer und gemeindlicher Freiräume nach Bodenbedeckungsarten und Stadtbiootypen (Quelle: Eigene Bearbeitung)*

Bodenbedeckungsart CORINE-Land-Cover-Nomenklatur: Ebene 3: Arten	Weitgehend vergleichbarer Stadtbiootyp gemäß Anlage CD-ROM
1.3.1 Abbauflächen	ohne Zuordnung
1.3.2 Deponien und Abraumhalden	ohne Zuordnung
2.1.1 Nicht bewässertes Ackerland	25
2.1.2 Regelmäßig bewässertes Ackerland	25
2.2.1 Weinbauflächen	29
2.2.2 Obst- und Beerenobstbestände	26
2.3.1 Wiesen und Weiden	21
2.4.1 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen	28
2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen	28
2.4.3 Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodendeckung von signifikanter Größe	37
2.4.4 Land- und forstwirtschaftliche Flächen	51
3.1.1 Laubwälder	42
3.1.2 Nadelwälder	42
3.1.3 Mischwälder	42
3.2.1 Natürliches Grünland	40
3.2.2 Heiden und Moorheiden	40
3.2.3 Hartlaubbewuchs	41
3.2.4 Wald – Strauch – Übergangsstadien	48
3.3.1 Strände, Dünen und Sandflächen	32
3.3.3 Felsflächen mit spärlicher Vegetation	32
4.1.1 Sümpfe	36
4.1.2 Torfmoore	17
4.2.1 Salzwiesen	21

Tab. 3/02: Vegetationsstruktur der 52 Stadtbiototypen – Flächenanteile der Vegetationsschichten und Flächen ohne Vegetation (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Stadtbiotyp gemäß Anlage CD-ROM	Vegetationsstruktur – Flächenanteile in %				
	„niedrig“	„mittel“	„hoch“	„ohne Vegetation“	„überbaut“
1	21	16	42	9	12
2	40	8	23	12	17
3	31	10	11	17	31
4	16	6	6	34	38
5	41	7	13	14	25
6	35	19	15	16	15
7	36	4	12	45	3
8	100	0	0	0	0
9	30	8	53	8	1
10	48	7	25	17	3
11	83	1	9	7	0
12	14	3	12	69	2
13	28	16	44	10	2
14	44	20	14	14	8
15	44	19	12	17	8
16	54	10	16	13	7
17	28	37	4	31	0
18	23	18	55	4	0
19	19	2	3	76	0
20	15	9	2	73	1
21	78	6	7	9	0
22	92	2	6	0	0
23	84	4	6	6	0
24	80	8	8	4	0
25	94	2	0	4	0
26	16	77	3	4	0
27	40	11	6	24	19
28	64	10	12	10	4
29	78	5	13	4	0
30	32	61	1	6	0
31	70	19	0	11	0
32	88	7	1	4	0
33	69	8	4	19	0
34	76	12	7	3	2
35	44	22	18	15	1
36	77	23	0	0	0
37	84	13	3	0	0
38	71	27	2	0	0
39	65	12	20	3	0
40	67	28	0	5	0
41	35	58	0	7	0
42	3	24	73	0	0
43	4	81	12	3	0
44	64	12	23	1	0
45	70	16	13	1	0
46	19	7	74	0	0
47	96	1	3	0	0
48	1	31	55	13	0
49	21	55	21	3	0
50	25	22	50	3	0
51	52	33	13	1	1
52	0	0	100	0	0

Tab. 3/03: Vegetationsstruktur der städtebaulichen Strukturtypen im Siedlungs- und Freiraum – Flächenanteile der Vegetationsschichten und Flächen ohne Vegetation (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Ziffern in der Klammer: Zuordnung eines annähernd vergleichbaren Stadtbiootyps zu den Flächennutzungsarten im Freiraum gemäß CORINE-Land-Cover-Nomenklatur der Bodenbedeckungen

		Flächen mit Vegetation [%]			Flächen ohne Vegetation [%]
		Vegetationsschicht „niedrig“	Vegetationsschicht „mittel“	Vegetationsschicht „hoch“	
Siedlungsraum Städtebaulicher Strukturtyp	Strukturtyp 1 (Flächen mit verdichtet geschlossener Bebauung)	23	7	10	60
	Strukturtyp 2 (Flächen mit geschlossener Bebauung)	28	8	13	51
	Strukturtyp 3 (Flächen mit offener Bebauung)	32	10	16	42
	Strukturtyp 4 (Flächen mit aufgelockert offener Bebauung)	36	13	19	32
	Strukturtyp 5 (Unbebaute Flächen)	42	13	17	28
Freiraum – Strukturtypen gemäß CORINE-Nomenklatur (Ebene 3: Arten)	1.3.1 Abbauf Flächen (-)				100
	1.3.2 Deponien und Abraumhalden (-)				100
	2.1.1 Nicht bewässertes Ackerland (25)	94	2	0	4
	2.1.2 Regelmäßig bewässertes Ackerland (25)	94	2	0	4
	2.2.1 Weinbauflächen (29)	78	5	13	4
	2.2.2 Obst- und Beerenobstbestände (26)	16	77	3	4
	2.3.1 Wiesen und Weiden (21)	78	6	7	9
	2.4.1 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen (28)	64	10	12	14
	2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen (28)	64	10	12	14
	2.4.3 Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodendeckung von signifikanter Größe (37)	84	13	3	0
	2.4.4 Land- und forstwirtschaftliche Flächen (51)	52	33	13	2
	3.1.1 Laubwälder (42)	3	24	73	0
	3.1.2 Nadelwälder (42)	3	24	73	0
	3.1.3 Mischwälder (42)	3	24	73	0
	3.2.1 Natürliches Grünland (40)	67	28	0	5
	3.2.2 Heiden u. Moorheiden (40)	67	28	0	5
	3.2.3 Hartlaubbewuchs (41)	35	58	0	7
	3.2.4 Wald – Strauch – Übergangsstadien (48)	1	31	55	13
	3.3.1 Strände, Dünen und Sandflächen (32)	88	7	1	4
	3.3.3 Felsflächen mit spärlicher Vegetation (32)	88	7	1	4
	4.1.1 Sümpfe (36)	77	23	0	0
	4.1.2 Torfmoore (17)	28	37	4	31
	4.2.1 Salzwiesen (21)	78	6	7	9
	5.1.1 Gewässerläufe (-)				100
	5.1.2 Wasserflächen (-)				100
	5.2.3 Meere (-)				100

Tab. 3/04: Vegetationsstruktur der Strukturtypen der statistischen Blöcke – Flächenanteile der Vegetationsschichten und Flächen ohne Vegetation
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Stadtstrukturtyp gemäß Anlage CD-ROM	Vegetationsstruktur – Flächenanteile in %			
	„niedrig“	„mittel“	„hoch“	„ohne Vegetation“
1	27,6	7,9	12,0	52,5
2	33,8	9,5	17,9	38,8
3	34,1	9,4	15,2	41,3
4	37,8	11,8	20,5	30,0
5	33,8	9,9	15,7	40,6
6	32,6	8,0	17,7	33,0
7	41,2	8,0	17,7	33,0
8	40,7	16,0	13,9	29,3
9	28,0	9,3	19,2	43,5
A	78,6	6,7	4,9	9,9
B	55,8	16,0	11,0	17,2
C	42,7	7,8	30,0	19,4
D	30,1	15,3	39,9	14,7
E	9,6	24,2	60,9	5,3
F	11,8	4,0	5,2	79,0
G	53,1	17,7	12,3	16,8
H	40,3	9,3	12,0	38,5
I	21,3	7,5	13,4	57,8
K	57,0	6,1	6,2	30,6
L	8,7	3,0	5,4	82,9

Tab. 3/05: Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschichten, Anteile der Kronenformen sowie Gesamtgrünvolumen der Stadtbiototypen (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Stadtbiototyp gemäß Anlage CD-ROM	Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschichten [m³/m²]			Anteile der Kronenformen [%]	Gesamt- grün- volumen [m³/m²]
	„niedrig“	„mittel“	„hoch“	(1)-Kugel (Faktor = 0,67) (2)-Kegel (Faktor = 0,33) (3)-Zylinder m. Kappen (Faktor = 0,91)	
1	0,02	0,48	5,73	100 % (3)	6,23
2	0,20	0,12	2,20	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	2,52
3	0,03	0,15	1,30	50 % (1) und 50 % (3)	1,48
4	0,02	0,06	0,60	100 % (1)	0,68
5	0,21	0,07	0,87	100 % (1)	1,15
6	0,18	0,29	1,01	100 % (1)	1,47
7	0,18	0,06	0,80	100 % (1)	1,04
8	0,10	0,00	0,00	/	0,10
9	0,15	0,24	7,23	100 % (3)	7,62
10	0,05	0,21	2,96	50 % (1) und 50 % (3)	3,22
11	0,08	0,02	1,07	50 % (1) und 50 % (3)	1,16
12	0,01	0,05	1,42	50 % (1) und 50 % (3)	1,48
13	0,14	0,24	4,20	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	4,58
14	0,35	0,60	1,37	67 % (1) und 33 % (2)+(3)	2,32
15	0,22	0,29	0,78	67 % (1) und 33 % (2)+(3)	1,29
16	0,05	0,30	1,07	100 % (1)	1,43
17	0,22	0,37	0,36	100 % (3)	0,96
18	0,18	0,54	5,53	100 % (1)	6,25
19	0,10	0,03	0,20	100 % (1)	0,33
20	0,02	0,09	0,13	100 % (1)	0,24
21	0,39	0,06	0,70	100 % (1)	1,15
22	0,46	0,02	0,71	50 % (1) und 50 % (3)	1,19
23	0,67	0,06	0,71	50 % (1) und 50 % (3)	1,44
24	0,40	0,24	0,80	100 % (1)	1,44
25	0,75	0,03	0,00	/	0,78
26	0,08	1,16	0,20	100 % (1)	1,44
27	0,20	0,11	0,57	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	0,88
28	0,32	0,10	0,63	67 % (2) und 33 % (3)	1,05
29	0,08	0,08	1,24	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	1,39
30	0,16	1,83	0,07	100 % (1)	2,06
31	0,35	0,29	0,00	/	0,64
32	0,09	0,11	0,07	100 % (1)	0,26
33	0,35	0,12	0,27	100 % (1)	0,73
34	0,61	0,36	0,67	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	1,64
35	0,22	0,66	2,13	50 % (1) und 50 % (3)	3,01
36	0,62	0,35	0,00	/	0,96
37	0,67	0,13	0,20	100 % (1)	1,00
38	0,36	0,41	0,16	50 % (1) und 50 % (3)	0,92
39	0,33	0,36	1,58	50 % (1) und 50 % (3)	2,27
40	0,07	0,42	0,00	/	0,49
41	0,18	1,74	0,00	/	1,92
42	0,00	0,72	6,97	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	7,69
43	0,02	1,22	0,53	67 % (2) und 33 % (1)	1,77
44	0,32	0,18	2,09	100 % (3)	2,59
45	0,35	0,24	1,24	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	1,83
46	0,10	0,21	10,10	100 % (3)	10,41
47	0,48	0,02	0,15	67 % (2) und 33 % (1)+(3)	0,64
48	0,01	0,93	4,35	50 % (1) und 50 % (3)	5,28
49	0,02	0,83	1,66	50 % (1) und 50 % (3)	2,51
50	0,03	0,66	5,38	67 % (3) und 33 % (2)	6,06
51	0,26	0,99	1,31	100 % (1)	2,56
52	0,00	0,00	9,55	67 % (1)+(3) und 33 % (2)	9,55

Tab. 3/06: Spezifisches Grünvolumen der Strukturtypen des Siedlungs- und Freiraumes
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Ziffern in der Klammer: Zuordnung eines annähernd vergleichbaren Stadtbiootyps zu den Flächen-
nutzungsarten im Freiraum gemäß CORINE-Land-Cover-Nomenklatur der Bodenbedeckungen

		Spezifisches Grünvolumen in m³/m²			
		Vegetations- schicht „niedrig“	Vegetations- schicht „mittel“	Vegetations- schicht „hoch“	Grün- volumen insgesamt
Siedlungsraum Städtebaulicher Strukturtyp	Strukturtyp 1 (Flächen mit verdichtet geschlossener Bebauung)	0,07	0,12	0,99	1,18
	Strukturtyp 2 (Flächen mit geschlossener Bebauung)	0,11	0,15	1,36	1,62
	Strukturtyp 3 (Flächen mit offener Bebauung)	0,15	0,21	1,62	1,98
	Strukturtyp 4 (Flächen mit aufgelockert offener Bebauung)	0,19	0,31	1,92	2,42
	Strukturtyp 5 (Unbebaute Flächen)	0,22	0,30	1,81	2,33
Freiraum – Strukturtypen gemäß CORINE-Nomenklatur (Ebene 3: Arten)	1.3.1 Abbauf Flächen (-)	0	0	0	0
	1.3.2 Deponien und Abraumhalden (-)	0	0	0	0
	2.1.1 Nicht bewässertes Ackerland (25)	0,75	0,03	0	0,78
	2.1.2 Regelmäßig bewässertes Ackerland (25)	0,75	0,03	0	0,78
	2.2.1 Weinbauflächen (29)	0,08	0,08	1,24	1,40
	2.2.2 Obst- und Beerenobstbestände (26)	0,08	1,16	0,20	1,44
	2.3.1 Wiesen und Weiden (21)	0,39	0,06	0,70	1,15
	2.4.1 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen (28)	0,32	0,10	0,63	1,05
	2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen (28)	0,32	0,10	0,63	1,05
	2.4.3 Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodendeckung von signifikanter Größe (37)	0,67	0,13	0,20	1,00
	2.4.4 Land- und forstwirtschaftliche Flächen (51)	0,26	0,99	1,31	2,56
	3.1.1 Laubwälder (42)	0	0,72	6,97	7,69
	3.1.2 Nadelwälder (42)	0	0,72	6,97	7,69
	3.1.3 Mischwälder (42)	0	0,72	6,97	7,69
	3.2.1 Natürliches Grünland (40)	0,07	0,42	0	0,49
	3.2.2 Heiden u. Moorheiden (40)	0,07	0,42	0	0,49
	3.2.3 Hartlaubbewuchs (41)	0,18	1,74	0	1,92
	3.2.4 Wald – Strauch – Übergangsstadien (48)	0,01	0,93	4,35	5,29
	3.3.1 Strände, Dünen und Sandflächen (32)	0,09	0,11	0,07	0,27
	3.3.3 Felsflächen mit spärlicher Vegetation (32)	0,09	0,11	0,07	0,27
	4.1.1 Sümpfe (36)	0,62	0,35	0	0,97
	4.1.2 Torfmoore (17)	0,22	0,37	0,36	0,95
	4.2.1 Salzwiesen (21)	0,39	0,06	0,70	1,15
	5.1.1 Gewässerläufe (-)	0	0	0	0
	5.1.2 Wasserflächen (-)	0	0	0	0
	5.2.3 Meere (-)	0	0	0	0

Tab. 3/07: Spezifisches Grünvolumen der Strukturtypen der statistischen Blöcke
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Stadtstrukturtyp gemäß Anlage CD-ROM	Spezifisches Grünvolumen in m ³ /m ²			
	„niedrig“	„mittel“	„hoch“	insgesamt
1	0,07	0,12	1,26	1,45
2	0,14	0,18	1,81	3,13
3	0,13	0,17	1,54	1,84
4	0,18	0,24	2,02	2,44
5	0,13	0,19	1,58	1,90
6	0,13	0,15	1,14	1,42
7	0,14	0,19	1,80	2,13
8	0,26	0,42	1,35	2,03
9	0,15	0,24	1,66	2,05
A	0,57	0,12	0,47	1,16
B	0,34	0,30	1,07	1,72
C	0,11	0,21	3,73	4,05
D	0,15	0,24	3,83	4,22
E	0,03	0,66	5,80	6,49
F	0,07	0,09	0,51	0,66
G	0,21	0,34	1,15	1,70
H	0,16	0,19	1,22	1,58
I	0,10	0,19	1,33	1,62
K	0,36	0,11	0,62	1,08
L	0,04	0,08	0,56	0,67

Tab. 3/08: Lagewerte der spezifischen Grünvolumen der Vegetationsschichten sowie der spezifischen Grünvolumen insgesamt differenziert nach Stadtbiotypen-, städtebaulichem Strukturtypen- und Stadtstrukturtypenansatz
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

		Spezifisches Grünvolumen in m³/m²	
		Minimalwerte	Maximalwerte
Stadtbiotyp	Vegetationsschicht „niedrig“	0,01 Stadtbiotyp 8: Graswege; Stadtbiotyp 48: Kleingehölze, Gebüsche	0,75 Stadtbiotyp 25: Acker
	Vegetationsschicht „mittel“	0,02 Stadtbiotyp 11: reine Scherrasen- und Zierrasenflächen, auch Sportrasen; ohne bzw. weitgehend ohne Gehölze; intensive Pflege im gesamten Bereich; Stadtbiotyp 22: Grünland mit keinen bzw. weitgehend keinen Gehölzen; Stadtbiotyp 47: Wildwiese; Wildacker	1,83 Stadtbiotyp 30: Aufschüttungen und Abgrabungen mit verbuschten bis verbuschenden Flächen
	Vegetationsschicht „hoch“	0,07 Stadtbiotyp 30: Aufschüttungen u. Abgrabungen mit verbuschten bis verbuschenden Flächen; Stadtbiotyp 32: Aufschüttungen u. Abgrabungen mit vegetationsarmen oder -losen Flächen	10,10 Stadtbiotyp 46: Ausgeprägte Waldsäume
	Insgesamt	0,10 Stadtbiotyp 8: Graswege	10,41 Stadtbiotyp 46: Ausgeprägte Waldsäume
Strukturtypen des Siedlungs- und Freiraums	Vegetationsschicht „niedrig“	0,01 Strukturtyp 3.2.4: Wald – Strauch Übergangsstadien	0,75 Strukturtyp 2.1.1: Nicht bewässertes Ackerland; Strukturtyp 2.1.2: Regelmäßig bewässertes Ackerland
	Vegetationsschicht „mittel“	0,03 Strukturtyp 2.1.1: Nicht bewässertes Ackerland; Strukturtyp 2.1.2: Regelmäßig bewässertes Ackerland	1,74 Strukturtyp 3.2.3: Hartlaubbewuchs
	Vegetationsschicht hoch	0,07 Strukturtyp 3.3.1: Strände, Dünen und Sandflächen; Strukturtyp 3.3.3: Felsflächen mit spärlicher Vegetation	6,97 Strukturtyp 3.1.1: Laubwälder; Strukturtyp 3.1.2: Nadelwälder; Strukturtyp 3.1.3: Mischwälder
	Insgesamt	0,27 Strukturtyp 3.3.1: Strände, Dünen und Sandflächen; Strukturtyp 3.3.3: Felsflächen mit spärlicher Vegetation	7,69 Strukturtyp 3.1.1: Laubwälder; Strukturtyp 3.1.2: Nadelwälder; Strukturtyp 3.1.3: Mischwälder
Stadtstrukturtypen der statistischen Blöcke	Vegetationsschicht „niedrig“	0,03 Stadtstrukturtyp E: Wald	0,57 Stadtstrukturtyp A: Geschlossene Blockbebauung
	Vegetationsschicht „mittel“	0,08 Stadtstrukturtyp L: Straßenflächen	0,66 Stadtstrukturtyp E: Wald
	Vegetationsschicht „hoch“	0,47 Stadtstrukturtyp A: Ackerflächen	5,80 Stadtstrukturtyp E: Wald
	Insgesamt	0,66 Stadtstrukturtyp F: Wasserflächen	6,49 Stadtstrukturtyp E: Wald

4 Rasteransatz zur Ableitung des Grünmusters einer Stadt

Grün- und Freiräume sind integraler Bestandteil des städtischen Ordnungsgefüges und strukturieren den Stadtraum in messbare Einheiten. Die Grünflächen einer Stadt manifestieren sich in verschiedenen räumlichen Mustern (Grünmuster), auf deren Bedeutung für die ökologischen Flächenleistungen der Städte und das soziale Wohlbefinden der Einwohner mehrfach hingewiesen wurde (vgl. Pillmann, Kellner, Klar 2001; Lörzing 1998; Finke 1993; Singer 1995). Sowohl die räumliche Verteilung der Grünflächen als auch die Art und Höhe der Vegetation charakterisieren das Grünmuster der Stadt. Durch räumliche Abgrenzung (Kartierung) von Grünflächen mit unterschiedlichen Vegetationsschichten, z. B. niedrig, mittel und hoch, wird dieses Grünmuster auf der gesamtstädtischen Ebene sichtbar.

Zur Grünmusterdarstellung wird die Stadt mit einem quadratischen Gitternetz der Maschenweite 100 m x 100 m überdeckt (Abb. 4/01). Für jede Rasterzelle werden die Flächenanteile der niedrigen, mittleren und hohen Vegetation quantifiziert. Als Grünzelle werden alle Rasterzellen mit einem Gesamtvegetationsflächenanteil von mehr als 60 % definiert. Ausgehend von dieser Definition erfolgt eine Reduktion der Rasterzellen auf Grünzellen. Die Frage, wo die Vegetation innerhalb einer Rasterzelle vorkommt, bleibt unberücksichtigt. Die Gesamtheit aller Grünzellen bildet das Grünmuster einer Stadt. Somit kann das Grünmuster einer Stadt als eine komplementäre Darstellung zum Schwarzmuster betrachtet werden. Diese Darstellung in abstrakten Schwarz- und Grünmustern, vor allem die Reduktion auf bebaute und unbebaute Flächen und deren Zuschnitt, charakterisiert die Flächennutzungsstrukturen der Städte anschaulich. Das Grünmuster einer Stadt erhält mit dem flächenspezifischen Grünvolumen eine weitere Dimension.

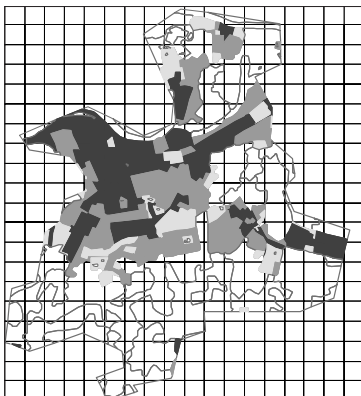


Abb. 4/01:
Überdeckung des Stadtmusters mit einem quadratischen Rasternetz
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Die räumliche Anordnung der Grünzellen – das Grünmuster – korrespondiert mit dem ökologischen Qualitätsniveau der Städte. Zur Beschreibung und Bewertung des Grünmusters und seines ökologischen Qualitätsniveaus wurden folgende räumliche Indikatoren entwickelt:

- das Isolationsmaß
- das Lakunaritätsmaß
- das Verbundmaß

Die Bewertung des Grünmusters geht davon aus, dass sich mit geringer werdenden Abständen der Grünzellen untereinander das ökologische Qualitätsniveau erhöht. Wenn eine Stadt mehr isoliert liegende Grünzellen als eine andere hat, so soll das ökologische Qualitätsniveau ihres Grünmusters schlechter als das der anderen eingestuft werden. Um die räumliche Verteilung der Grünzellen mit einem Maß zu beschreiben, werden ihre Koordinaten in Form von Zeilen- und Spaltenpositionen des Rasteraumes ermittelt (Jede Grünzelle hat eine Zeilenposition i und Spaltenposition j , i und j sind natürliche Zahlen). Je disperser die Grünzellen im Raum verteilt sind, desto größer werden die Varianzen ihrer Zeilen- und Spaltenpositionen. Es liegt nahe, die Summe dieser Varianzen als ein Maß zur Charakterisierung der räumlichen Anordnung der Grünzellen zu verwenden und als Isolationsmaß zu bezeichnen:

Isolationsmaß = Varianz(i) + Varianz(j)

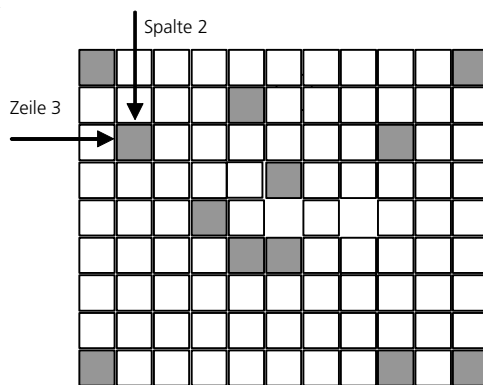


Abb. 4/02:
Räumliche Anordnung der Grünzellen
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Eine weitere räumliche Eigenschaft des Grünmusters ist die Lakunarität. Mit dem Gitternetz der Maschengröße von 100 m x 100 m (1 ha) und der anschließenden Abstraktion auf Zellen mit mindestens 60 % Grünflächenanteil wurde die räumliche Häufung berücksichtigt. Zwei Städte können trotz gleichem Grünflächenanteil eine unterschiedliche Anzahl von Grünzellen aufweisen, z. B. wenn eine Stadt stark verstreute und auf viele Zellen verteilte Grünflächen hat. In diesem Fall bleiben nach der Abstraktion weniger Rasterzellen übrig als in einer Stadt mit konzentrierter Lage der

Freiflächen. Die Grünzellen können als „Löcher“ des Schwarzmusters betrachtet werden. So kann die folgende Größe als Lakunaritätsmaß in der Stadt verwendet werden.

$$\frac{\text{Gesamtfläche aller Grünzellen}}{\text{Stadtfläche}} * 100$$

Im Sinne des Biotopverbundes ist es wünschenswert, dass alle Grünzellen miteinander verbunden sind. Daher wird GIS-basiert das größte zusammenhängende Polygon von Grünzellen ermittelt. Die Größe

$$\frac{\text{Fläche des größten zusammenhängenden Polygons von Grünzellen}}{\text{Gesamtfläche aller Grünzellen}} * 100$$

wird als Verbundmaß des Grünmusters definiert.

5 Wirkungszusammenhänge zwischen Stadtvegetation und stadtökologischer Qualität

Stadtvegetation hat vielfältige, insbesondere aber ökologische und soziale Funktionen. Sie dient der biologischen und mentalen Gesundheit der Menschen in den Städten sowie dem Schutz natürlicher Lebensgrundlagen. Durch die Vegetation werden Umweltbelastungen reduziert (Nohl 1993).

Ökologische Funktionen der Vegetation in der Stadt sind u. a.

- bioklimatische Funktion
- Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion
- Grundwasserneubildungsfunktion
- Abflussregulation
- Lebensraumfunktion
- Biotopbildungsfunktion
- Bodenschutz
- Immissionsschutz

Die wesentlichen sozialen Funktionen sind Freizeit und Erholung sowie Bildung.

Es zeichnen sich für eine Stadt oder Stadtregion direkte Beziehungen zwischen Vegetationsart, -anteil, -struktur sowie Lage der Grünfläche innerhalb der Topographie und dem ökologischen Leistungsvermögen bzw. der ökologischen Funktionserfüllung ab, die sich insbesondere auf das Mikroklima, den Bodenwasserhaushalt, die Artenvielfalt von Flora und Fauna sowie die Lufthygiene auswirken. Bodenerosion, Lärm und Besonnung werden jedoch ebenfalls beeinflusst.

Erwärmungs- sowie Luftverschmutzungsgrad stehen in Abhängigkeit zum Grünanteil in einer Stadt und dem Grünanteil des Umlandes. Bei geringen Vegetationsanteilen bildet sich durch hohe Lufttemperaturen und Luftverschmutzung eine Dunstglocke über der Stadt aus (Abb. 5/01).

Städtische Freiflächen (Parkanlagen, Stadtgrünplätze) wirken als stadtklimatische Regulative für die unmittelbar angrenzende Bebauung. Um einen ausgeglichenen Klimahaushalt in den Städten zu erzielen, sollte ein System kleiner engmaschig verteilter und von Vegetation bestimmter Freiflächen angestrebt werden. Damit wird der Austausch unterschiedlich temperierter Luftmassen leichter vollziehbar (Hege et al. 1998/99). Nohl gliedert die Freiflächen in folgende Verteilungsmuster: Disperse

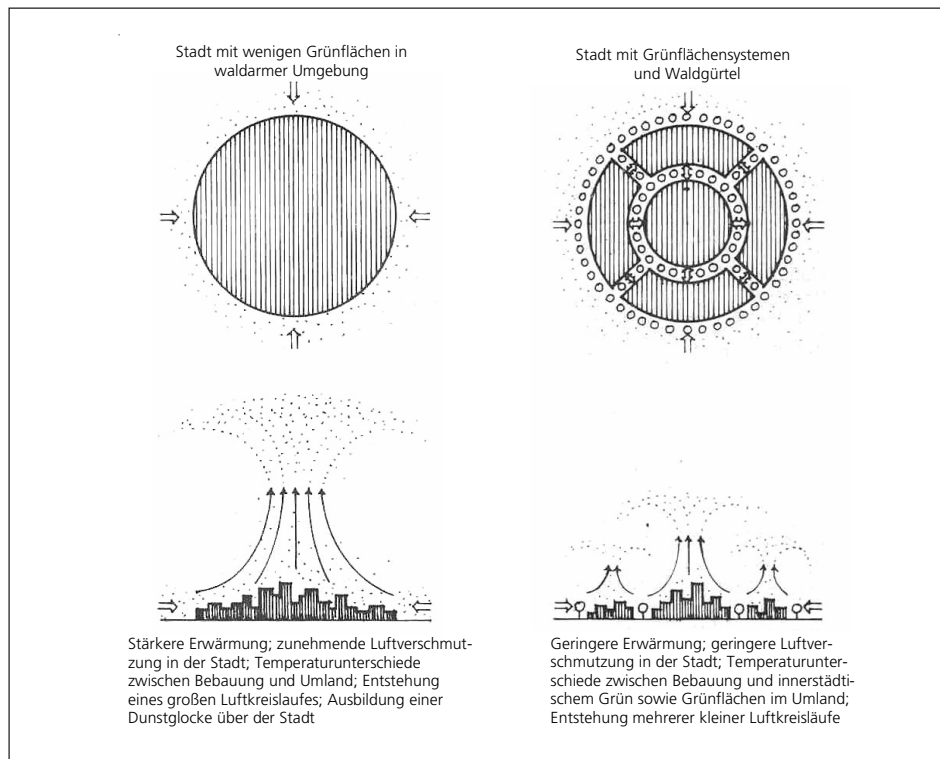


Abb. 5/01: Luftkreislauf (Schema) – Stadt bei windarmem Wetter
(Quelle: Baeseler et al. 1974)

Struktur, Bandstruktur, Sternstruktur, Grüngürtel und kammartige Struktur, wobei in den Städten meist Mischstrukturen der Verteilungsmuster ausgebildet werden (Nohl 1993).

Parkanlagen und innerstädtische Grünflächen haben die größte kühlende Wirkung, wenn sie mit einem hohen Anteil an Wasser- und Wiesenflächen sowie lockerer Anordnung von Bäumen gestaltet sind. Sie ermöglichen ein hohes Maß an Regenwasserversickerung, senken den Regenwasserabfluss und sorgen damit für mehr Verdunstungskühle. Damit sind sie Kaltluftentstehungsgebiete. Da sie innerhalb der Städte die Flächen mit der geringsten Oberflächenrauigkeit ausprägen, besitzen sie eine besondere Funktion für den horizontalen Luftausgleich (Hege et al. 1998/99).

Art und Struktur der Vegetation bestimmen deren klimatische Wirkung innerhalb der Stadt. In verdichtet geschlossenen Bebauungsstrukturen trägt eine lockere Anordnung von Bäumen zur Temperaturabsenkung bei.

Grünflächen reduzieren grundsätzlich Windgeschwindigkeiten. Hecken oder Baumreihen können durch Bebauung hervorgerufene hohe Windgeschwindigkeiten bis zu

einer Reichweite von 300 m wirksam abbremmen. Entlang von Straßenzügen mindert Vegetation die Seitenwinde. In einem Wald wird die Windgeschwindigkeit nach 40 m um 30 bis 40 % herabgesetzt, nach 120 m bis 200 m herrscht nahezu Windstille (Kolender 2000). Andererseits sind alleearartige Bepflanzungen von Straßenräumen, die ein geschlossenes Kronendach ausbilden, in Bezug auf den reduzierten Luftaustausch und die damit einhergehende Erhöhung der Schadstoffkonzentration eher negativ zu bewerten. Die Filterwirkung steht dann in keinem Verhältnis zur Erhöhung der Schadstoffkonzentration in einem solchen Raum (Bruse 2003).

Die Art der Vegetation bestimmt maßgeblich den Grad der Verdunstung. Je größer das Vegetationsvolumen, desto höher ist der Anteil des Niederschlagswassers, das verdunstet wird. Beispielsweise beträgt die Luftfeuchtigkeit über größeren Rasenflächen bis zu 90 % (Stuffel 2001). Mit steigender Intensität des Bewuchses erhöht sich die Verdunstungsrate. Entsprechend geringer ist die Wassermenge, die ins Grundwasser gelangt. Nutzungs- und Bewuchsarten lassen sich hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Kaltlufterzeugung ordnen. Waldflächen sorgen tagsüber für Kaltluft bzw. Frischluftentstehung, Acker- und Wiesenflächen in den Nachtstunden (Doetsch et al. 1997).

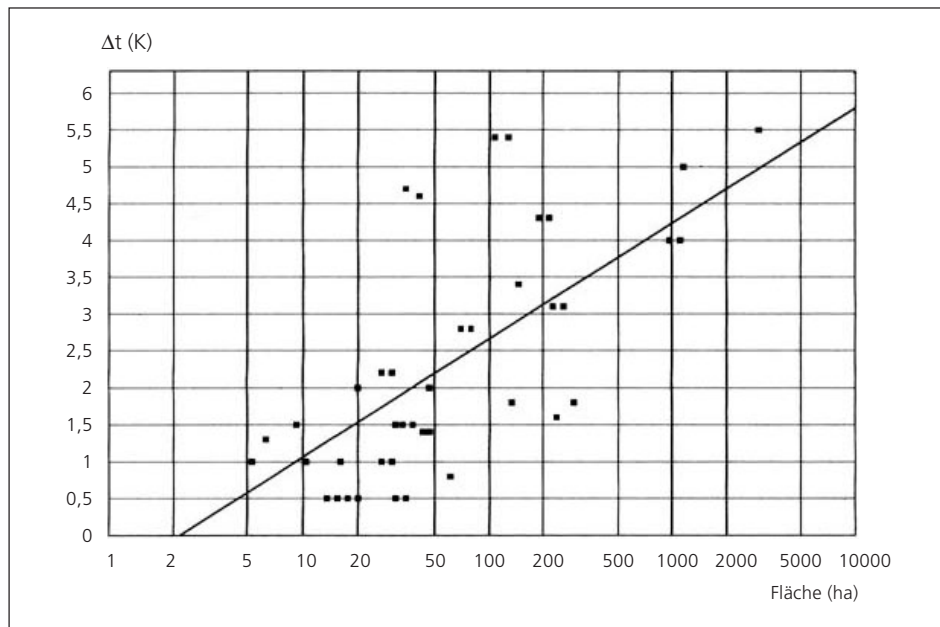
Nach Finke lässt sich erst ab einer Größe der Vegetationsfläche von mehr als 1 ha eine temperaturmindernde Ausgleichsfunktion für eine angrenzende dicht bebauete Umgebung feststellen (Finke 1994).

Grünflächen in Stadtrandlage, die den Siedlungsraum mit den Flächen im Freiraum verbinden, ermöglichen den Zufluss unbelasteter Kaltluft in die Stadt. Die Grünflächen (Wiesen, Äcker) im Umland einer Stadt sorgen für eine Verbesserung deren klimatischer Situation durch nächtliche Kaltluftströme, vorausgesetzt sie können ungehindert – frei von Hindernissen – über vorhandene Kaltluftschneisen in die Stadt eindringen. Freie oder nur locker bepflanzte Grünflächen sind dabei optimale Schneisenoberflächen. Zu verhindern sind emittierende Industrieanlagen und stark befahrene Straßen im Einzugsbereich.

Demgegenüber beeinflussen Bebauung, aber auch Hecken, Baumgruppen und Wälder die Ausbreitung der Frischluftmassen negativ. Im ungünstigsten Fall können schädliche Kaltluftseen entstehen (Nohl 1993).

Der für einen effektiven klimatischen Ausgleich erforderliche Grünflächenbedarf beträgt nach Miess/Miess (1987) ca. 13 bis 20 m² innerstädtische Grünflächen je Einwohner sowie darüber hinaus Baumpflanzungen, insbesondere Straßenbäume (Miess, B.; Miess, M. 1987). Das Umweltministerium von Bayern weist in einem von ihm herausgegebenen Umweltlexikon einen Freiflächenbedarf von 50 m² je Einwohner aus, wobei gleichzeitig festgestellt wird, dass viele Städte diesen Bedarf nicht abdecken können (Umweltlexikon). Die temperaturabsenkende Wirkung von Grünflächen wird in direkter bivariater Abhängigkeit von deren Flächengröße bestimmt.

Bei Messungen in Berliner Grünanlagen wurden Temperaturdifferenzen bis 6 Grad ermittelt (Abb. 5/02) (Sukopp, Wittig 1998).



Darüber hinaus besitzt die Vegetation ein hohes Maß an Staubfiltervermögen. Sie vermag Luftverunreinigungen auf 15 bis 25 % des ursprünglichen Wertes zu reduzieren (Doetsch et al. 1997). Der durch den Prozess der Photosynthese entstehende Luftaustausch bewirkt eine Belüftung der Stadt und damit den Abtransport verbrauchter Bestandteile und Emissionen von Abgasen aus Verkehr, Hausbrand und Industrie (Doetsch et al. 1997). Die Luft baumbestandener Grünanlagen enthält ca. 10 bis 15 % der stadtüblichen Staubpartikeldichte. Die Schattenwirkung und die transpiratorische Kühlung der großen Lauboberfläche bewirken, dass die sommerlichen Extreme einer Stadt um bis zu 3° gemindert werden. Durch die Temperaturdifferenz entsteht eine angenehme Luftzirkulation (WUA-News 2001).

Vegetationsbestandene Flächen wirken gegen Erosionsneigung von Böden und sind in der Lage, einen Teil der Niederschläge aufzufangen und sofort wieder zu verdunsten sowie auf der Fläche versickern zu lassen (Doetsch et al. 1997).

Darüber hinaus sind Grünanlagen Biotop für Flora und Fauna. Wiesen bilden u. a. die Lebensgrundlage für Pflanzengemeinschaften aus Kräutern und Gräsern. Hecken übernehmen wichtige Funktionen als Lebensräume für Pflanzen und Tiere, Einzelbäume und Alleen beherbergen Lebensgemeinschaften.

In einer ersten Übersicht werden die Auswirkungen von Vegetation auf das Klima, den Boden, Flora und Fauna sowie stadthygienische Faktoren in ihrer Wirkungstendenz qualitativ beschrieben (Tab. 5/01).

Da bei den durchgeführten Untersuchungen davon ausgegangen wurde, dass die einzelnen Vegetationsschichten unterschiedliche Wirkungen hervorrufen, wird in einem weiteren Schritt die Vegetation differenziert nach den Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ in ihren Wirkungen dargestellt (Tab. 5/02). Damit wird es möglich, bei konkreten Fragestellungen gezielte Planungsstrategien zu entwickeln.

Im Grünbuch Stadtökologie wurde die bioklimatische und lufthygienische Leistungsfähigkeit von Vegetation grob quantifiziert (Tab. 5/03). Die Werte bringen zum Ausdruck, dass die pflanzenphysiologischen Kreisläufe je nach Gehölzart, Jahres- und Tageszeit sowie Witterung unterschiedlich reagieren. Die Werte verdeutlichen aber auch, dass Wiese und Rasen (Vegetationsschicht „niedrig“) günstige Assimilationswerte aufweisen, Baumbestände (Vegetationsschicht „hoch“) die Lufttemperatur und -feuchtigkeit günstig beeinflussen sowie Parkanlagen (Flächen mit den Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“) hohe bioklimatische Wirkungen aufweisen.

Die für die kreisfreien Städte und deren Stadtregionen ermittelten mittleren Vegetationsvolumen ergaben keine erkennbare Beziehung zum Mesoklima. Die in bivariaten Untersuchungen zwischen den Temperatur- bzw. Niederschlagsjahresmittelwerten und den städtischen und regionalen durchschnittlichen Vegetationsvolumina von 59 kreisfreien Städten ermittelten Bestimmtheitsmaße lagen unter 0,1, was

möglicherweise auf die relativ trägen und unsensiblen Jahresmittelwerte von Temperatur und Luftfeuchte zurückzuführen ist.

Tab. 5/01: Wirkungstendenzen von Stadtvegetation auf ausgewählte ökologische Leistungen (Quelle: Eigene Bearbeitung nach Ammer et al. 1978; Bruse 2003; Doetsch et al. 1997; Finke 1994; Hege et al. 1998/99; Nohl 1993)

Stadtökologische Faktoren	Wirkungstendenz (bei Zunahme der Stadtvegetation)	Qualitative Beschreibung
Lufttemperatur	sinkend	Anstieg der verschattenden Wirkung insbesondere durch die mittlere und hohe Vegetation; Transpiration der Pflanzen; Reflexion von Sonnenenergie; Kühlung unterhalb der Vegetation sowie der angrenzenden Bereiche.
Luftfeuchte	steigend	Geringerer Abfluss von Regenwasser; Zunahme der Regenwasserversickerung; Zunahme der Verdunstungsflächen; steigende Wasserdampf-abgabe.
Luftbewegung	sinkend	Entstehung von Temperaturunterschieden zwischen Vegetationsflächen und der Umgebung; vertikale Luftbewegungen; Ausbildung kleiner Luftkreisläufe, die den horizontalen Luftaustausch unterstützen oder behindern (je nach Anordnung der Vegetation innerhalb der Struktur); Zunahme des Luftwiderstandes und damit Abnahme der Windgeschwindigkeiten.
Staubbindev ermög en	steigend	Verringerung der Umgebungstemperatur durch Vegetation; geringere Staubaufwirbelung; erhöhte Luftzirkulationen durch lokale Temperaturunterschiede zwischen Bäumen und Straßen bzw. Bäumen und Gebäuden; erhöhtes Sedimentations- und Absorptionspotenzial für Stäube und Aerosole.
Bodenbefestigung	steigend	Ausbildung von Wurzelgeflechten; Reduzierung des Bodenabtrags durch Windabbremung und Aufnahme von Niederschlägen; Verringerung des Abflusses von Oberflächenwasser; Verringerung der Erosionsneigung.
Regenwasser-versickerung	steigend	Senkung des Regenwasserabflusses; Entstehung von Verdunstungskühle (Kaltluftentstehungsgebiete); horizontaler Luftausgleich, durch geringe Oberflächenrauigkeit.
Oberflächenwas-serabfluss	sinkend	Rückhaltung des Niederschlages im Kronenraum und Unterholz; ansteigende Verdunstungsrate; Zunahme der Versickerung; Rückhaltung im Wurzelraum; erhöhte Grundwasserneubildungsrate.
Flora und Fauna	steigend	Entstehung naturnaher Lebensräume; bei Grünflächenvernetzung Erhöhung von Naturpotenzialen; verbesserte Lebensbedingungen; Zunahme der Artenvielfalt.
Lufthygiene (Sauerstoffgehalt; Windkomfort)	steigend	Reduzierung der Schadstoffbelastung innerhalb bebauter städtebaulicher Strukturen; Entstehung von Sauerstoff und Glukose durch Umwandlung von Kohlendioxid aus der Luft (Photosynthese). Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff und Ozon werden ebenfalls von Pflanzen aufgenommen, stören jedoch die Photosynthese; verringerte Windbelastung.
Lärm	weitgehend unbeeinflusst; psychologisch sinkend	Einschränkung der Sichtbeziehungen zu den Schallquellen, dadurch Reduzierung der störenden Wirkung als psychologischer Effekt; messbare Pegelminderung bei breiten und dichten sowie stufig aufgebauten Pflanzflächen in Abhängigkeit von der Pflanzart sowie der Jahreszeit in Höhe von 0,1 bis 0,3 dB pro laufenden Meter Pflanzung; Schallpegelminderung in Abhängigkeit von der Frequenz (Schallabsorption und diffuse Reflexion im höheren Frequenzbereich wirksamer als im tiefen).
Besonnung	unbeeinflusst bis sinkend	Dämpfung der Helligkeitsmaxima unter Bäumen und höheren Sträuchern (mittlere und hohe Vegetationsschicht); Reflexion von Sonnenlicht; verschattende Wirkung.

Tab. 5/02: Ökologische Wirkung der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“, „hoch“
(Quelle: Eigene Bearbeitung nach Ammer et al. 1978; Bruse 2003; Doetsch et al. 1997; Finke 1994; Hege et al. 1998/99; Nohl 1993)

Stadtökologische Faktoren	Vegetationsschicht „niedrig“ (Rasen, Wiese)	Vegetationsschicht „mittel“ (Sträucher, Stauden, Hecken, Gebüsch, kleine Bäume)	Vegetationsschicht „hoch“ (mittlere, große Bäume)	Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“, „hoch“ (Parkanlagen mit Baum-, Rasen- sowie Strauch- und Heckenbestand)
Lufttemperatur	Mittlere Kaltluftentstehung in Abhängigkeit vom Absinken der Oberflächentemperatur des Bodens – Abkühlende Wirkung auf die bebaute Umgebung in den Abend- und Nachtstunden (Temperaturunterschiede bis 5° C im Vergleich zu angrenzenden befestigten Flächen).	Verhinderung von Temperaturextremen durch ausgleichende Wirkung auf die Bodentemperatur und die bodennahe Lufttemperatur.	Absenkung der Lufttemperatur besonders unter den Baumkronen. Die Kronen der Wälder ermöglichen kaum eine Abstrahlung der kalten Luft. Temperaturabsenkende Wirkung auf die angrenzende Bebauung bis ca. 40 m Entfernung.	Temperaturabsenkende Wirkung in den Nachmittags- und Abendstunden bis zu einer Entfernung von 200 m bis 300 m in einem angrenzenden Wohngebiet; kühlende Wirkung am Tag.
Luftfeuchte	Erhöhung der relativen Luftfeuchte bis zu 30 % gegenüber angrenzenden befestigten Flächen.	Erhöhung der relativen Luftfeuchte ohne qualitative Angaben.	Erhöhung der relativen Luftfeuchte durch Aufnahme von Niederschlagswasser und Verdunstung. Verbesserung des Mikroklimas bereits durch Einzelbäume (in Wäldern relative Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Tageszeit zwischen 75 und 100 %).	Erhöhung der Luftfeuchte und positive Beeinflussung der mikroklimatischen Situation der angrenzenden Bebauung.
Luftbewegung	Geringe Auswirkung auf Luftbewegung.	Durch hohe Winddurchlässigkeit der Vegetation gleichmäßige Windbremsung; Windberuhigung bei Lage der Vegetation quer zur Anströmrichtung – Verringerung der Windgeschwindigkeiten luvseitig der Vegetation bis zu einer Entfernung von ca. dem 4-fachen, leeseitig bis zu einer Entfernung von ca. dem 20-fachen der Vegetationshöhe; in städtischen Randlagen Möglichkeit der Behinderung des Kaltluftstroms durch Verringerung des Luftaustauschs.	Starke Reduzierung der Windgeschwindigkeit; bei dichtem Baumkronenschluss Verhinderung vertikaler Turbulenzen im Stammbereich. Düsenwirkung bei alleeartiger Bepflanzung.	Horizontaler Luftaustausch durch die geringste Oberflächenrauigkeit in der Stadt. Als städtische Flächen mit Verbindung zum Freiland ermöglichen sie den Zufluss unbelasteter Kaltluft.

Staubbindevormögen	Geringfügige Ablagerung von Staub aus der Luft; stärkere Bindung von Staub- und Gasanteilen aus Niederschlägen auf den Grünflächen.	Hohes Maß der Staubbinding, Anstieg des Staubgehaltes unmittelbar hinter der Vegetation auf einen Wert unter dem Ausgangswert (aktive Filterwirkung).	Hohes Staubbindevormögen (bis 90 %) – dadurch sehr geringe Staubkonzentrationswerte im Einzugsbereich der Pflanzung, die hinter der Pflanzung sofort wieder ansteigen.	Hohes Staubbindevormögen der Flächen durch die Bindung sedimentierter Stäube der Bäume von den Rasenflächen und damit Verhinderung der erneuten Aufwirbelung der Stäube.
Regenwasser-versickerung/Grundwasser-neubildung	Kaum Regenwasserabfluss durch hohes Maß an Versickerungsleistung; Grundwasserneubildung bzw. Vermeidung von Grundwasserabsenkung.	Kaum Regenwasserabfluss; Stabilisierung der Bodenfeuchte durch erhöhte Versickerungsleistung; Grundwasserneubildung.	Kaum Regenwasserabfluss; geringer Beitrag zur Grundwasserneubildung durch hohen Eigenbedarf der Bäume.	Kaum Regenwasserabfluss; Stabilisierung der Bodenfeuchte; geringer Beitrag zur Grundwasserneubildung.
Biotop- und Artenschutz	Ausbildung ausdauernder Pflanzengemeinschaften aus Kräutern und Gräsern, wobei der Standort und die Pflege für die Artenszusammensetzung entscheidend sind.	Erfüllung wichtiger Funktionen als Lebensräume für Pflanzen und Tiere; Vernetzung natürlicher und naturnaher Lebensräume; Ermöglichung von Wanderungsbewegungen und Ausbreitung von Tieren bzw. Pflanzen.	Einzelbäume und Alleen sind Lebensräume für Lebensgemeinschaften.	Durch Staffelung von Saum bildenden Büschen und höher werdenden Gehölzen im Inneren sowie Wiesenflächen Pufferwirkung und Gliederung des Lebensraumes für Pflanzen und Tiere.
Strahlung	Relativ niedrige Reflexionszahl von ca. 12-30 % im kurzwelligen Spektralbereich; dadurch positive Wirkung auf das Lichtklima der unmittelbaren Umgebung.	Keine quantitativen Angaben zu Strahlungsreflexion und Helligkeit	Starke Absorption von Strahlung und geringe Strahlungsreflexion (5-20 %); Dämpfung der Helligkeitsmaxima des Sonnenlichtes; hohe Schattenwirkung und damit Minderung der Lufttemperatur.	Sehr positive Wirkung auf die Strahlungsreflexion und die Helligkeit durch die Überlagerung von niedriger, mittlerer und hoher Vegetation.
Lufthygiene	Hohe assimilative Fähigkeiten (Verbrauch an Kohlendioxid und Entsteherung von Sauerstoff) – insbesondere von Wiesenflächen bis 60 cm Höhe – durch große Blattfläche pro m ² Bodenfläche.	In Abhängigkeit von der Dichte der Pflanzung erfolgt die Sedimentation der Staubpartikel (bei ca. 40%iger Durchlässigkeit werden die höchsten Wirkungen erzielt).	Aufnahme oder Ablagerung der Schadstoffe von bzw. auf den Blättern; Verbesserung der Luftqualität durch Filterwirkung.	Verringerte Windgeschwindigkeit führt zu erhöhter Sedimentation und Deposition von Partikeln unter Bäumen. Offener Boden und Grasflächen bewirken aufgrund der erhöhten Rauigkeit, dass am Boden gelagerte Partikel nicht mehr freigesetzt werden.
Lärm	Bodennahe Schallquellen werden über Wiesen- und Rasenflächen durch Schallabsorption in Abhängigkeit von der Frequenz und der Entfernung in ihrem Lärm gemindert.	In Abhängigkeit vom Abstand der Schallquelle von Hecken oder Gebüsch sowie deren Höhe, Tiefe und Wuchsform kann Lärm direkt hinter der Pflanzung geringfügig gesenkt werden (ca. 0,25-0,35 dB/m Hecken-tiefe).	Geringe bis keine Lärminderung durch Einzelbäume und Baumgruppen, jedoch Dämpfung der hohen Frequenzen und damit Änderung des Geräusches. Dichte Wälder verringern die Schallausbreitung in Abhängigkeit von der Waldtiefe um 0,1 bis 0,2 dB/m.	Geringe bis keine Lärminderung; Änderung des Geräusches durch Dämpfung der Frequenzen.

Tab. 5/03: Einfluss von Vegetation auf die lufthygienischen Bedingungen bearbeitet nach:
 Bartenfelder, Baumann, Bernatsky, de la Chevallerie, Doernach, Heid, Köhler,
 Minke, Witter
 (Quelle: Grünbuch Stadtökologie 1991, 112)

Vegetation	Blattfläche je m ² Boden- fläche oder Wandfläche in m ²	Sauerstoff- abgabe je m ² Boden- fläche oder Wandfläche in g/h ¹⁾	Kohlendioxid- verbrauch je m ² Boden- fläche oder Wandfläche in g/h ²⁾	Staubabsorb- tion und -sedimentation in % ³⁾	a) Lufttemperatur in Grad C b) rel. Luftfeuchtig- keit in % ⁴⁾
1. Rasen, Wiese 3 cm hoch 5 cm hoch bis 60 cm hoch	6,0 9,0 225,0	6,6 9,9 247,5	9,0 13,5 337,5	– – –	a) bis 5 °C kühler b) bis 30 % feuchter
Grasdach, ungemäht	100,0	110,0	150,0	bis 75 %	
2. Fassadengrün Wilder Wein 10 cm dick 20 cm dick Efeu 25 cm dick	3,0 5,0 12,0	3,3 5,5 13,2	4,5 7,5 18,0	– – bis 90 %	a) 3-7 °C kühler
3. Baumbestand, parkartig ca. 80 Jahre	9,5	10,5	14,3	bis 90 %	a) 5-8 °C kühler b) bis 60 % feuchter
4. Grünfläche mit Bäumen, Sträu- chern und Rasen	8,0	8,8	12,0	bis 85 %	a) 4-7 °C kühler b) bis 50 % feuchter

1) 1,1 g Sauerstoff/m² Blattfläche und Assimilationsstunde

2) 1,5 g Kohlendioxid/m² Blattfläche und Assimilationsstunde

3) Staubanteil der Luft, welcher durch den Einfluss von Vegetationsschichten herausgefiltert wird

4) a) Minusdifferenz an warmen Sommertagen zu angrenzenden unbegrüntem Freiflächen

b) Plusdifferenz an warmen Sommertagen zu angrenzenden unbegrüntem Freiflächen

6 Indikatorfunktion städtischer Grünflächen für ausgewählte ökologische Flächenleistungen

Es ist seit langem bekannt, dass städtisches Grün die ökologischen Flächenleistungen beeinflusst und damit als Indikator für bestimmte Umweltsituationen stehen kann (Abb. 6/01).

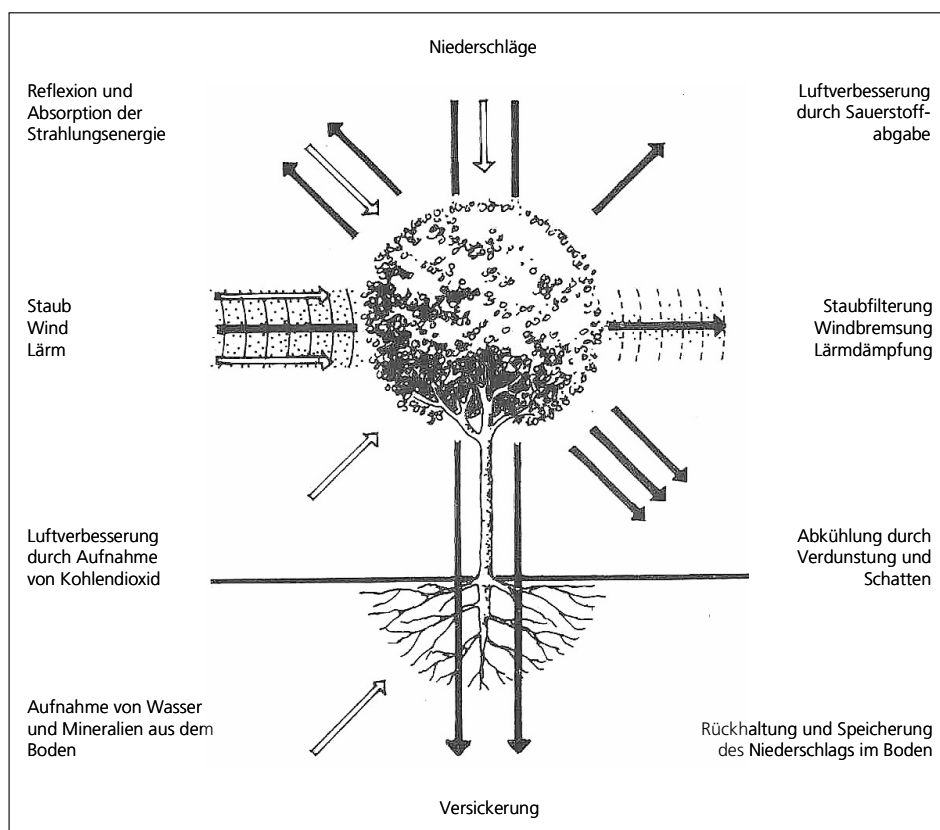


Abb. 6/01: Funktionsschema der Beziehung zwischen Pflanze und Umwelt
(Quelle: Baeseler et al. 1974)

Die Pflanzen bilden durch den Prozess der Photosynthese eine Voraussetzung für das Leben von Mensch und Tier. Sie wandeln das für die Menschen und Tiere schädliche Kohlendioxid unter Einwirkung von Nährstoffen aus dem Wasser und Sonnenlicht in Abhängigkeit von der Temperatur um und setzen dabei Sauerstoff frei.

Beispielsweise entstehen bei einer frei stehenden Rotbuche mit 25 m Höhe, 14 m Kronendurchmesser und einer Blattfläche von 1 600 m² im Sommer in einer Stunde 1,75 kg Sauerstoff, womit 10 Menschen mit ausreichend Atemluft versorgt sind (G.O.-Wissen Online 1999).

Ein Baum ist ein Immissionsfilter, d. h. er filtert Staub aus der Luft. Ein Straßenbaum setzt am Tag ca. 1 m³ Sauerstoff frei und verdunstet bis zu 400 l Wasser. Darüber hinaus kann er im Jahr bis zu einer Tonne Staub binden. (Internet-Magazin für Geo- und Naturwissenschaften). Ein Hektar Buchenwald kann jährlich ca. 70 t, ein Hektar Fichtenwald ca. 30 t Staub aus der Luft herausfiltern (Umwelt-Lexikon).

Außerdem reduzieren Bäume die Windgeschwindigkeit und bieten einen artenreichen Lebensraum für Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen.

Die Rückhaltung von Niederschlägen durch die Pflanzen sowie die langsame Transpiration der Feuchtigkeit an die Luft einerseits und Versickerung des Niederschlagswassers andererseits wirken positiv auf den gesamten Wasserhaushalt. Geringe Anteile des Wassers werden von der Pflanze selbst verbraucht (Abb. 6/02).

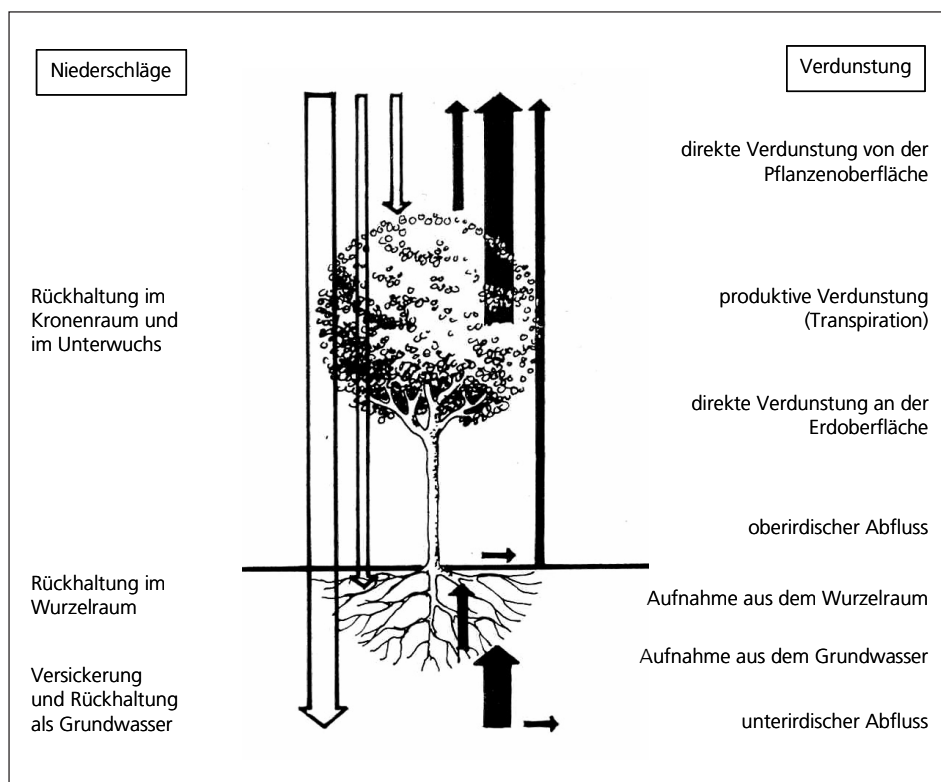


Abb. 6/02: Einfluss der Vegetation auf den Wasserhaushalt
(Quelle: Baeseler et al. 1974)

Ebenso werden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte durch die Art der Bodendeckschichten beeinflusst. Über offenen vegetationsbestandenen Flächen ist die Lufttemperatur wesentlich geringer und die Luftfeuchte wesentlich höher als über befestigten versiegelten Flächen. Die Temperaturunterschiede betragen bis zu 9 Grad, die Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit bis 40 % (Abb. 6/03).

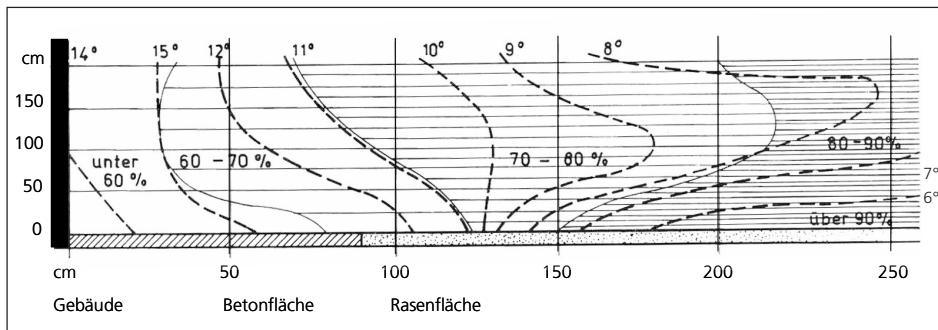


Abb. 6/03: Lufttemperatur in °C und relative Luftfeuchtigkeit in % in Abhängigkeit von unterschiedlichen Bodendeckschichten
(Quelle: Baeseler et al. 1974)

Die lärmdämpfende Wirkung von Vegetation ist abhängig von der Art, Dichte und Breite der Pflanzungen, deren Abstand zur Schallquelle sowie der Jahreszeit. Die durchschnittliche Schallpegelminderung beträgt pro laufenden Meter Schutzpflanzung 0,1 bis 0,3 dB.

Die Schutzwirkung der Vegetation gegen Freilandwinde wird auf der dem Wind zugewandten Seite (Luv) mit ca. der vierfachen Hindernishöhe, auf der dem Wind abgewandten Seite (Lee) mit ca. der 20-fachen Hindernishöhe gerechnet (Abb. 6/04).

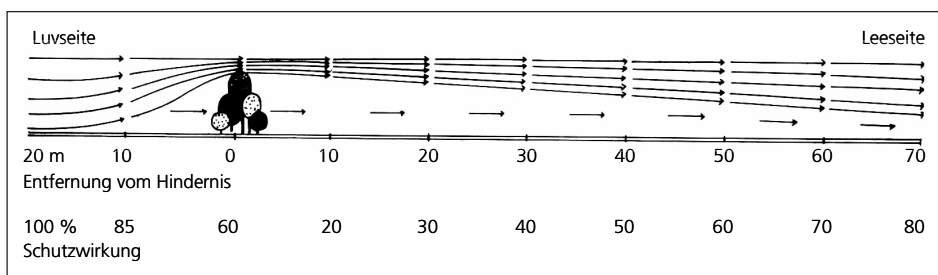


Abb. 6/04: Windschutzwirkung einer 5 m hohen Pflanzung – Prozent des Freilandwindes gemessen in Bodennähe
(Quelle: Baeseler et al. 1974)

Um die Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Arten der Bodendeckschichten und Umweltauswirkung quantifizieren zu können, wurden ausgewählte ökologische Flächenleistungen und Bodendeckschichtenarten versiegelter, unversiegelter vege-

tationsloser sowie unversiegelter vegetationsbestandener Flächen wirkungsanalytisch untersucht und in einem Bewertungsansatz quantitativ beschrieben (Heber, Lehmann 1996). Darin werden den Arten der Bodendeckschichten dimensionslose ökologische Leistungsparameter zugeordnet, die eine Leistungseinschätzung auf ordinalem Skalenniveau zwischen 0 (keine ökologischen Flächenleistungen) und 1 (sehr hohe ökologische Flächenleistungen) ermöglichen.

Für die in dieser Untersuchung interessanten Bodendeckungen Rasen, Wiese, Stauden sowie Bäume und Sträucher als vegetationsbestandene Flächen und offene Böden als vegetationslose Flächen wurden die Flächenleistungen „klimatisches Ausgleichsvermögen, Staubbindevermögen, Schadstoffrückhaltung, Porosität und Durchlässigkeit, Grundwasserneubildung, Regenwasserversickerung sowie Biotopausbildungsvermögen“ in ihrer Wertigkeit ausgewiesen.

Danach werden grundsätzlich geringe bis hohe ökologische Leistungen von allen Vegetationsflächen und den Flächen mit offenen Böden erbracht. Die höchsten Leistungen erfüllen die Vegetationsflächen für den klimatischen Ausgleich, in Bezug auf die Porosität und Durchlässigkeit des Bodens, das Regenwasserversickerungs-, das Schadstoffrückhalte- sowie das Biotopausbildungsvermögen (außer Rasenflächen). Geringe bis mittlere Leistungen erbringen Rasen-, Wiesen-, Staudenflächen für die Staubbindung und für die Grundwasserneubildung. Flächen mit Bäumen und Sträuchern tragen von den Vegetationsflächen am geringsten zur Grundwasserneubildung bei, erfüllen jedoch die höchsten Leistungen bei der Staubbindung (Abb. 6/05).

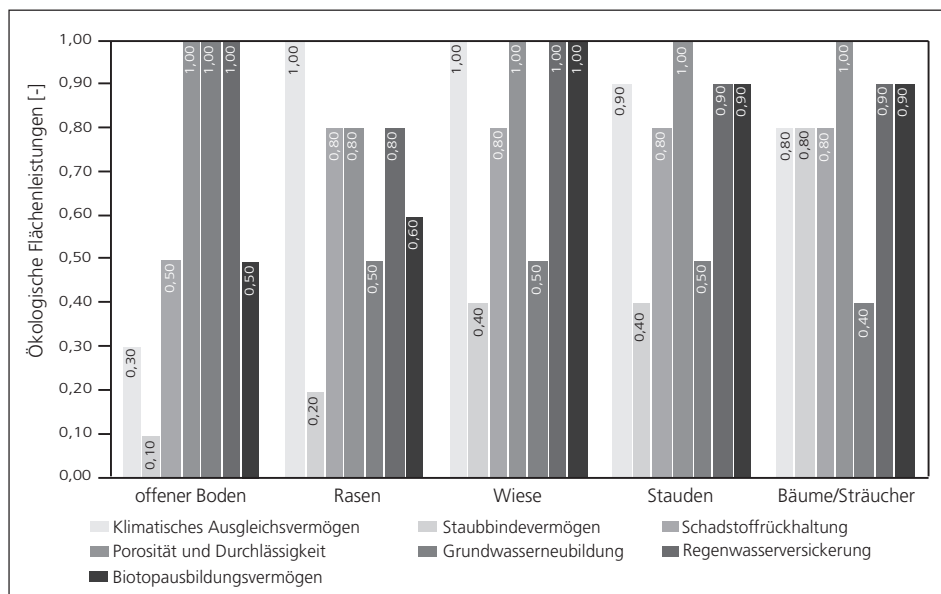


Abb. 6/05: Ökologische Flächenleistungsparameter in Abhängigkeit von der Art der Bodendeckschicht (Quelle: Eigene Bearbeitung nach Heber, Lehmann 1996, 22)

7 Empirische Untersuchungen

Die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Städten und Stadtregionen wird empirisch-deduktiv auf der Grundlage einer GIS-basierten vegetationsstrukturellen Analyse in 91 kreisfreien Städten Westdeutschlands und 25 kreisfreien Städten Ostdeutschlands sowie ausgewählten Umlandgemeinden untersucht. Die Untersuchung nimmt damit auf die Grundgesamtheit einer Städtekatgorie in Deutschland⁷ Bezug und zielt auf die Beantwortung der Fragen nach

- Grünflächenanteilen und flächenspezifischen Grünvolumen in der Differenzierung nach Vegetationsschichten und deren Lagewerten sowie Häufigkeitsverteilungen,
- Formmaßen und Kenngrößen zur Charakterisierung des räumlichen Ordnungsgefüges städtischer Grünmuster,
- Faktoren, nutzungsstrukturellen Determinanten und Einflüssen auf Grünflächenanteile und Grünvolumen,
- kenngrößenanalytischen Modellen zur Berechnung von Grünflächenanteilen und flächenspezifischen Grünvolumen,
- stadtypologischen Gliederungen und stadtypischen aufzeigenden Mittelwerten,
- Ansätzen einer stadtypendifferenzierten entwicklungsstrategischen Orientierung.

Ein Schwerpunkt der empirischen Untersuchungen liegt in der Wirkungsanalyse der Beziehungen zwischen Flächennutzungsstruktur und Grünflächenanteilen bzw. flächenspezifischen Grünvolumen. Im Rahmen der Wirkungsanalyse gelangen einschlägige regionalstatistische Verfahren (Faktorenanalyse, multiple Regressionsanalyse) zur Anwendung.

Die Forschungsarbeit wendet den Städtevergleich als grundlegendes methodisches Instrument an, mit dessen Hilfe die Grünflächen- und Grünvolumensituationen der Städte und Stadtregionen verglichen und bewertet werden können. Der Städtevergleich zielt auf ordinal skalierte Maßstäbe mithilfe der Kenngrößen Grünflächenanteil und flächenspezifisches Grünvolumen. Die Maßstabsentwicklung schließt stadtypo-

⁷ Die kreisfreien Städte nehmen in ihrer Verwaltung alle jene Aufgaben wahr, die sonst auf Landkreise und Gemeinden aufgeteilt sind. Der damit vorhandene erweiterte Handlungsspielraum ermöglicht den Städten, städtische Entwicklungsprozesse relativ souverän zu beeinflussen. Erkenntnisse über Auswirkungen städtischer Strukturen können auf kurzem Wege in kommunale Entscheidungen einfließen.

logische Untersuchungen auf der Grundlage von Clusteranalysen ein und orientiert auf die Identifizierung von Stadttypen⁸. Stadttypen weisen vergleichbare Niveaus von Grünflächenanteilen und flächenspezifischen Grünvolumen auf, die als ökologische Leistungs- bzw. Qualitätsniveaus interpretiert werden können. Sie sind durch weitgehend ähnliche nutzungsstrukturelle Kenngrößen (beispielsweise Siedlungs- und Verkehrsfläche, Siedlungsdichte, Flächenausstattung pro Einwohner) charakterisiert.

Die Forschungsarbeit zielt auf nutzungsstrukturelle Orientierungswerte in Abhängigkeit von stadtstrukturellen Rahmenbedingungen, die grundsätzlich aus den untersuchten nutzungsstrukturellen Kenngrößen entwickelt werden und auf die Stadttypen und ihre Grünflächen- und Grünvolumensituation Bezug nehmen. Ihre Ableitung folgt der These, dass jede Stadt unterschiedliche Strukturen und Voraussetzungen hat und deshalb individuelle Lösungen gefunden und Schwerpunkte gesetzt werden müssen⁹. Unter Beachtung von Mindestmaßen beispielsweise für Freiflächen im Siedlungsraum, für Freiräume in Kernstädten und Stadtregionen, für die Ausstattung der Einwohner mit Freiflächen sowie eines Verschlechterungsverbot der ökologischen Qualität nehmen die nutzungsstrukturellen Orientierungswerte Bezug auf:

- die Proportionen der Flächennutzung, beispielsweise auf die Verhältnisse von Siedlungs- zu Freiraum, versiegelter zu unversiegelter Stadtfläche, vegetationsbestandener zu vegetationsloser Stadtfläche,
- funktionsräumliche Verteilungsmuster der Grünflächen, beispielsweise auf deren Isolation, Lakunarität und Verbund.

Raumebenen

Die vegetationsstrukturelle Analyse in den kreisfreien Städten Deutschlands schließt die räumlichen Ebenen Kernstadt, Stadtregion, Siedlungsraum und Freiraum ein (Abb. 7/01).

Der Begriff **Kernstadt** bezeichnet die Stadt in ihren administrativen Grenzen.

Die **Stadtregion** schließt Kernstadt und ausgewählte Umlandgemeinden ein. Das Auswahlkriterium besteht in einem gemeinsamen Grenzabschnitt zwischen Kernstadt und Umlandgemeinde zum Gebietsstand 10.04.1997. Darüber hinaus finden Umlandgemeinden Berücksichtigung, die von den ausgewählten Umlandgemeinden vollständig umschlossen werden.

⁸ Stadttyp im Sinne eines Typus als Ordnungsbegriff, der Abstufungen in einer ein- oder mehrdimensionalen Reihenordnung ermöglicht. Die Abstufungen verbinden sich mit Aussagen, dass „etwas bis zu einem gewissen Grade“ so sei. Abstufungen stehen im Gegensatz zu Klassifikationen, weil sie fließende Übergänge ausdrücken, welche die Klassenbegriffe durchschneiden (Gassner 1993, 58).

⁹ Vgl. Initiative für Städtedialog (1999, 4).

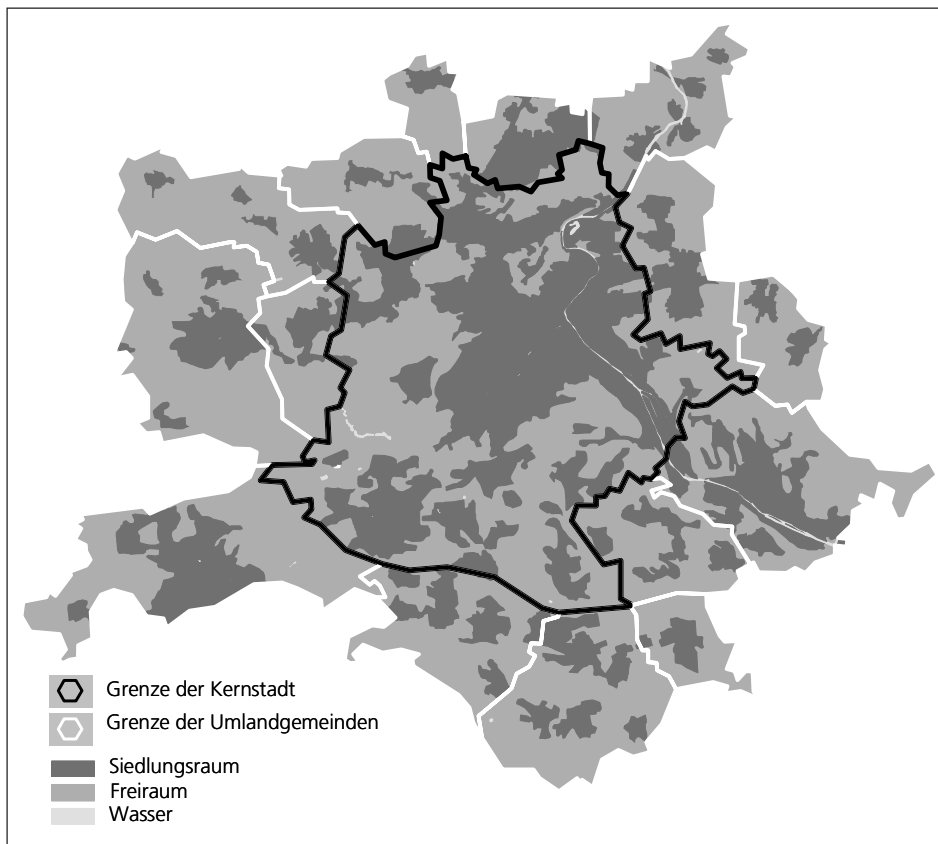


Abb. 7/01: Darstellung der räumlichen Untersuchungsebenen Kernstadt, Stadtregion, Siedlungsraum und Freiraum
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Die Definitionen des Siedlungs- und Freiraums gelten für Kernstadt und Umlandgemeinden und basieren auf der CORINE-Nomenklatur¹⁰ sowie orientieren sich an den Flächennutzungsarten nach AdV¹¹. Danach wird der **Siedlungsraum** auf die Siedlungs- und Verkehrsfläche mit den Flächennutzungsarten Gebäude- und Freifläche, Betriebsfläche, Erholungsfläche, Friedhofsfläche und Verkehrsfläche bezogen. Der **Freiraum** enthält Landwirtschaftsfläche, Waldfläche, Wasserfläche, Abbauland und Flächen anderer Nutzung.

¹⁰ Daten zur Bodenbedeckung (1996). Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

¹¹ Flächenbezogene Nutzungsarten im Liegenschaftskataster (Nutzungsartenverzeichnis) gemäß Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 1991, entnommen aus: Statistik regional, Daten und Informationen der statistischen Ämter der Länder und des Bundes, Ausgaben 1997, 2002.

Datenlage

Die Vegetationsstruktur¹² der kreisfreien Städte Deutschlands ist auf der Grundlage der Stadtbioptypkarten Dresden 1993 und 1999, der städtebaulichen Strukturtypenkarten der 116 kreisfreien Städte¹³ von 1997 sowie der Bodenbedeckungskarten aus dem CORINE Land Cover (CLC)-Projekt für die 116 kreisfreien Städte von 1996 analysiert worden.

Der regionalstatistischen Analyse der kreisfreien Städte Deutschlands stehen damit grundsätzlich der Gebietsstand¹⁴ von 1997 (31.12.1996) und die Datenstände¹⁵ von 1997 (31.12.1996), 1999 und 2001 (31.12.2000) zur Verfügung (Statistisches Bundesamt 1997, 2001).

Ein Vergleich der Gebietsstände von 1997 und 2001 weist

- für 96 kreisfreie Städte Veränderungen von weniger als 10 ha auf,
- für 20 kreisfreie Städte Veränderungen von mehr als 10 ha.

Die Veränderungen resultieren überwiegend aus Gebietsreformen und schlagen in den sieben kreisfreien Städten Sachsens mit einem kräftigen Flächenwachstum zu Buche.

Aufgrund der weitgehenden Übereinstimmung der Gebietsstände von 1997 und 2001 in 83 % der kreisfreien Städte stellt sich folgende Datenlage für die regionalstatistische Analyse dar:

- für 96 kreisfreie Städte: – Gebietsstand 2001
 - Datenstand vegetationsstrukturelle Kenngrößen 1999
 - Datenstand nutzungsstrukturelle Kenngrößen 2001
- für 20 kreisfreie Städte: – Gebietsstand 1997
 - Datenstand vegetationsstrukturelle Kenngrößen 1997
 - Datenstand nutzungsstrukturelle Kenngrößen 1997.

¹² Unter Vegetationsstruktur wird die Physiognomie (äußere Erscheinung) und Anordnung der Biomasse (Verteilung und Höhe der Pflanzen) und der Anteil der einzelnen Lebensformen gesehen.

¹³ Städtebauliche Strukturtypenkarten sind im Rahmen der IÖR-Forschung zur Bodenversiegelung in den kreisfreien Städten Deutschlands entwickelt worden (Arlt et al. 2001).

¹⁴ Der Gebietsstand beschreibt die Fläche der Stadt in den administrativen Grenzen zu einem bestimmten Zeitpunkt.

¹⁵ Die Datenstände bestehen aus den vegetationsstrukturellen Kenngrößen (Vegetationsflächen und Vegetationsvolumen) und den nutzungsstrukturellen Kenngrößen (Siedlungs- und Freiraumflächenanteile, Bevölkerungs-, Siedlungs-, Straßennetzdichte und Ausstattung der Einwohner mit Flächenarten). Die vegetationsstrukturellen Kenngrößen weisen den Datenstand 1999 auf. Nutzungsstrukturelle Kenngrößen stehen für die Datenstände 1997 und 2001 zur Verfügung.

Beurteilung der Datenlage im Kontext der Projektziele

Zentraler Forschungsgegenstand sind die stochastischen Wirkungsbeziehungen zwischen der Flächennutzungsstruktur und ausgewählten Kenngrößen der Vegetationsstruktur in den kreisfreien Städten Deutschlands.

Der Bezug auf die Daten- und Gebietsstände von 1997 und 2001 ist auf Art und Maß der Wirkungszusammenhänge unerheblich, weil räumliche Strukturen, insbesondere Siedlungs- und Flächennutzungsstrukturen ein großes Beharrungsvermögen haben und das Veränderungspotenzial der räumlichen Struktur, also das veränderbare Beziehungsgefüge von Flächen unterschiedlicher Nutzungsarten, zumindest auf kurze Sicht gering ist (vgl. Arlt, Weise 1999, 112).

Die wirkungsanalytischen Untersuchungen werden für 96 kreisfreie Städte grundsätzlich mit dem Gebiets- und Datenstand von 2001 geführt. Der Datenstand der vegetationsstrukturellen Kenngrößen ist von 1999 und maßgeblich aus der aktuellen Stadtbioptypkarte von Dresden entwickelt worden. Beeinträchtigungen der Aussagegenauigkeit der kenngrößenanalytischen Modelle, die auf die Verwendung der unterschiedlichen Datenstände 1999 und 2001 zurückzuführen sind, sind unbedeutend, weil nutzungs- und vegetationsstrukturelle Kenngrößen auf stadt- bzw. stadtreionaler Ebene, also auf mittelmaßstäbiger Ebene, eine relativ große Trägheit aufweisen und sich nur durch Eingemeindungen im Rahmen von Gebietsreformen deutlich oder sogar sprunghaft verändern.

8 Grünflächenanteile und spezifisches Grünvolumen der 116 kreisfreien Städte Deutschlands und deren Regionen – Lagewerte und Histogramme

Wesentliche Ergebnisse der vegetationsstrukturellen Analyse im Rahmen der empirischen Untersuchungen stellen die nach Vegetationsschichtung differenzierten Kenngrößen des Grünflächenanteils und des spezifischen Grünvolumens für die 116 kreisfreien Städte Deutschlands und deren Regionen dar. Grünflächenanteil und spezifisches Grünvolumen sind planerische Kenngrößen, deren mittelmaßstäbige Analyseebene (1 : 25 000 bis 1 : 50 000) die planungspraktische Anwendung weitgehend auf die gesamtstädtische bzw. stadtregionale Planungsebene festlegt. In einer Modellabstraktion sind Grünflächen und deren Kubatur zwei- und dreidimensionale Bestandteile des Objektraumes Stadt und beeinflussen im Zusammenwirken mit den versiegelten Flächen, den Wasserflächen und den Gebäuden die stofflichen, energetischen und informationellen Zustände des Lebensraumes Stadt grundlegend. Städtische Objektstrukturen unterliegen dem Einfluss der Flächennutzungsstrukturen.

Die nutzungsstrukturellen Einflüsse auf die Versiegelung städtischer Flächen und deren ökologische Leistungen konnten in empirischen Forschungen nachgewiesen werden (vgl. Arlt et al. 2001). Die wirkungsanalytischen Untersuchungen der Grünflächenanteile und des Grünvolumens in den kreisfreien Städten Deutschlands und deren Regionen sind Bestandteil dieser Forschungslinie. Die Forschungsergebnisse sind weitere Bausteine eines konzipierten Modells, dessen Funktion in der Abbildung der Wirkungszusammenhänge zwischen Flächennutzungsstruktur und den versiegelten Flächen, Grünflächen, Grünvolumen sowie den daraus resultierenden ökologischen Flächenleistungen zu sehen ist.

Grünflächenanteile geben den Anteil vegetationsbestandener Flächen insgesamt und differenziert nach den Schichtungen „niedrig“, „mittel“, „hoch“ an den Bezugsflächen Kernstadt, Stadtregion, Siedlungsraum und Freiraum in % an.

Das **spezifische Grünvolumen** ist das auf Flächeneinheiten (in der Regel 1 m²) der Kernstadt, Stadtregion, des Siedlungs- oder Freiraums bezogene Volumen vegetationsbestandener Flächen. Es wird differenziert nach den Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“, „hoch“ und für die Summe der Vegetationsschichten in m³ je m² ausgewiesen.

Die stadtökologischen Kenngrößen Grünfläche und Grünvolumen liegen differenziert nach Raumebenen und Vegetationsschichtung für 116 kreisfreie Städte Deutschlands und als Mittelwerte aller Städte vor (Tab. 8/01).

Tab. 8/01: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittelwerte der Grünflächenanteile und des spezifischen Grünvolumens differenziert nach Raumebenen und Vegetationsschichten (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Raumebene	Grünflächenanteile [%] nach Vegetationsschichtung				Spezifisches Grünvolumen [m³/m²] nach Vegetationsschichtung			
	niedrig	mittel	hoch	alle Schichten	niedrig	mittel	hoch	alle Schichten
Kernstadt insgesamt	47	11	20	78	0,29	0,24	1,97	2,52
Kernstadt Siedlungsraum	4	6	17	26	0,15	0,21	1,57	1,92
Kernstadt Freiraum	55	11	22	89	0,38	0,26	2,15	2,80
Stadtregion insgesamt	53	10	21	84	0,36	0,24	2,00	2,61
Stadtregion Siedlungsraum	33	10	15	58	0,15	0,22	1,59	1,95
Stadtregion Freiraum	59	10	22	92	0,41	0,25	2,11	2,79

8.1 Lagewerte einer Städtekatgorie

Für die nach Vegetationsschichtung und den Raumebenen Kernstadt und Stadtregion differenzierten Grünflächenanteile und Grünvolumen liegen keine vergleichbaren Kenngrößen vor. Die Schichtung von Stadtvegetation ist planungswissenschaftlich u. a. als Merkmal von Nutzungs- und Strukturtypen interessant (vgl. u. a. Beisch 1998; Pillmann, Keller 2001; Arlt et al. 2003) und findet vor allem in der teilstädtischen Analyse und Bewertung Berücksichtigung. Die Lagewerte (Mittelwerte, Extremwerte) der Kenngrößen Grünflächenanteil und Grünvolumen in den kreisfreien Städten und deren Stadtregionen charakterisieren Rahmenbedingungen der Freiraumentwicklung sowie ökologische Leistungsniveaus einer Städtekatgorie Deutschlands. Sie bilden darüber hinaus die Grundlagen der Entwicklung planungspraktischer Bewertungsskalen für alternative strategische Orientierungen in der Stadtentwicklung.

8.1.1 Grünflächenanteile in Kernstädten und Stadtregionen

Der schichtungsdifferenzierte Vergleich der Grünflächenanteile lässt für Kernstädte und Stadtregionen ähnliche Größenordnungen bei Mittel- und Extremwerten erkennen (Abb. 8/01). Die größten Unterschiede von jeweils 6 % zeigen die Mittelwerte in den Vegetationsschichten „niedrig“ und „alle Schichten“ an. Die geringfügig höheren mittleren stadtreionalen Grünflächenanteile von 6 % quantifizieren die generellen Aussagen über die höheren Grünflächenanteile in den Umlandgemeinden.

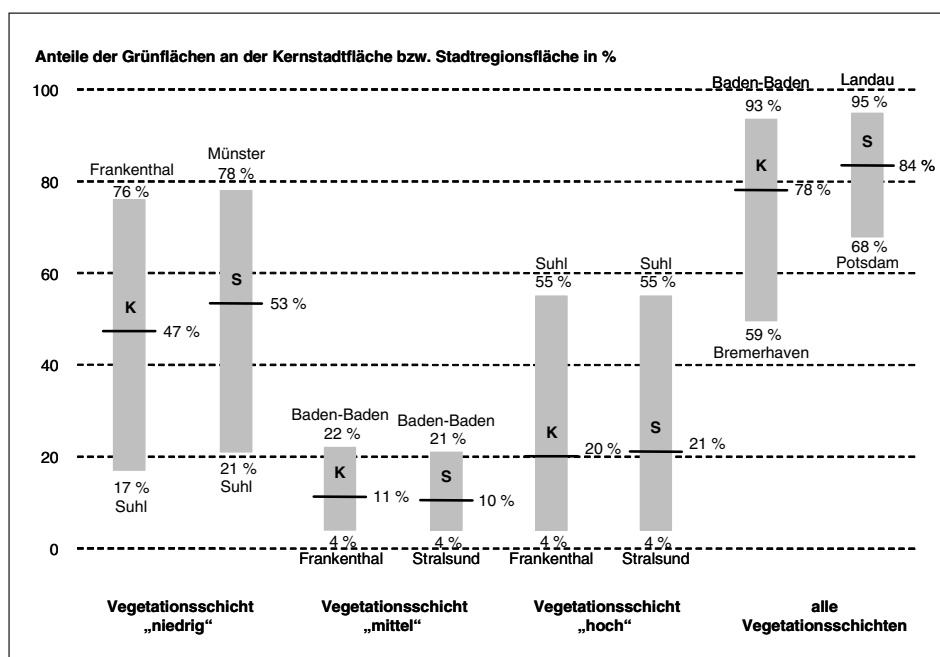


Abb. 8/01: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der Grünflächenanteile der Kernstädte (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Die Mittelwerte der Grünflächenanteile in Kernstädten und Stadtregionen von ca. 80 % sind durch die Proportionen 50 % (Flächenanteil der Vegetationsschicht „niedrig“), 10 % („mittel“) und 20 % („hoch“) charakterisiert.

Auffällig hohe Bandbreiten in den Grünflächenanteilen weisen die Kernstädte und Stadtregionen in den Vegetationsschichten „niedrig“ (17 % bis 78 %), „hoch“ 4 % bis 55 % und „alle Schichten“ (59 % bis 95 %) auf. Die Extremwertabstände spiegeln die nutzungsstrukturellen Unterschiede in den untersuchten Kernstädten und deren Stadtregionen wider.

Lebensraumqualität wird vor dem Hintergrund fortschreitender Freiflächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke zunehmend an Art und Maß der **Grünflächen im Siedlungsraum** reflektiert. Vor dem Hintergrund langer Aufenthaltsdauer des Menschen im Siedlungsraum und relativ geringer Aufenthaltsqualität erlangen die ökologischen und psychosozialen Funktionen von Grünflächen in städtischen Siedlungsräumen gegenüber den Freiräumen eine höhere Wertschätzung.

Die Lagewertanalyse der Grünflächenanteile im Siedlungsraum verdeutlicht die relativ geringen Bandbreiten innerhalb der kreisfreien Städte, aber auch die ausgeprägten Unterschiede in den Mittelwerten von Kernstädten und Stadtregionen (Abb. 8/02).

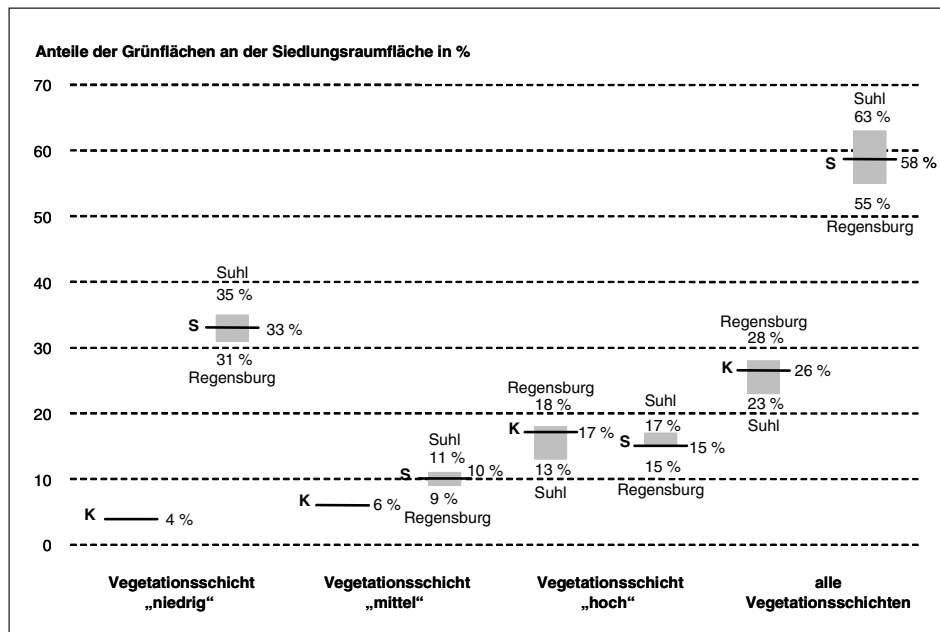


Abb. 8/02: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der Grünflächenanteile der Siedlungsräume von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

In den Siedlungsräumen der Kernstädte liegt der mittlere Grünflächenanteil bei etwa 25 %. Die Flächenanteile der Vegetationsschichten weisen die Proportionen von 5 % („niedrig“), 5 % („mittel“) und 15 % („hoch“) auf. Die deutlich höheren Grünflächenanteile in den Siedlungsräumen von Stadtregionen liegen im Mittel bei ca. 60 % und sind durch die Proportionen 35 % : 10 % : 15 % bezogen auf die Flächenanteile der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“, „hoch“ gekennzeichnet.

Die **Grünflächenanteile der Freiräume** von Kernstädten und Stadtregionen weisen nur geringe Unterschiede, aber große Bandbreiten auf (Abb. 8/03). Der mittlere Grünflächenanteil von ca. 90 % an der Freiraumfläche der Kernstädte bzw. Stadtregion setzt sich aus den Flächenanteilen der Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ von ca. 60 %, 10 % und 20 % zusammen.

8.1.2 Spezifische Grünvolumen in Kernstädten und Stadtregionen

Das auf die Flächeneinheit von 1 m² und die Raumeinheiten Kernstadt bzw. Stadtregion bezogene Grünvolumen ist ein Indikator mit geringer Sensibilität. Veränderungen des Grünvolumens im Rahmen von städtebaulichen Maßnahmen auf Quartiers- oder Grundstücksebene werden von den gesamtstädtischen bzw. stadtregio-

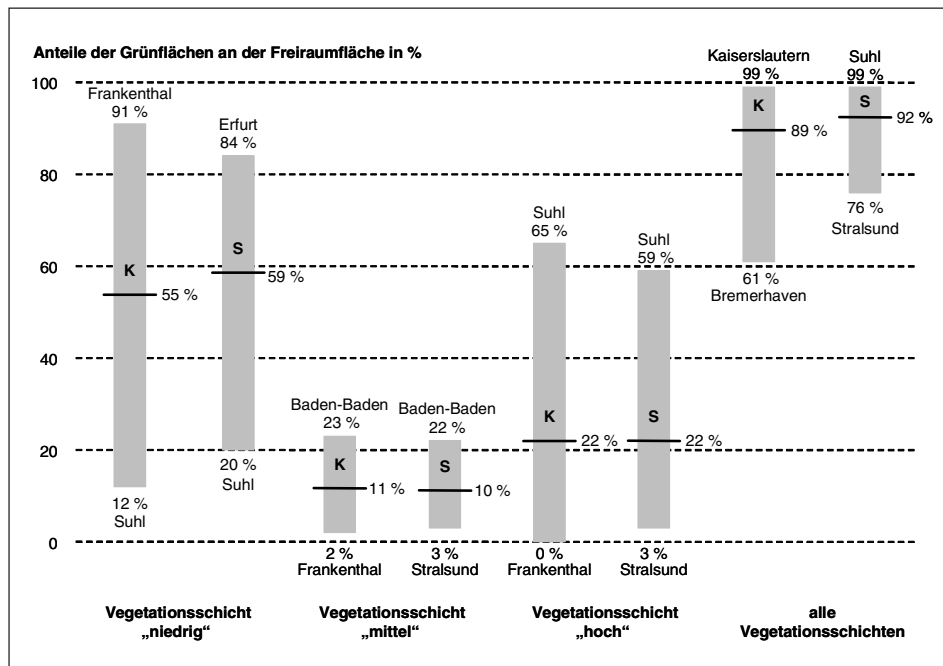


Abb. 8/03: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der Grünflächenanteile der Freiräume von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

nen Kenngößen kaum angezeigt, obwohl die mikroklimatischen Wirkungen der Veränderungen durchaus spürbar sind. Das spezifische Grünvolumen auf mittelmäßiger Raumebene erfüllt vielmehr die Funktion eines kommunalen Basisindikators, mit dem – in der Regel im Zusammenhang mit der Bodenversiegelung – eine „grobe“ Anzeige der stadtökologischen Qualität erfolgt.

Kernstädte und Stadtregionen weisen ein **mittleres spezifisches Grünvolumen** ähnlicher Größenordnung ($2,52 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und $2,61 \text{ m}^3/\text{m}^2$) auf (Abb. 8/04). Die Größenordnung ist durch das Volumen der Vegetationsschicht „hoch“ festgelegt, das im Mittel der Kernstädte ($1,97 \text{ m}^3/\text{m}^2$) bzw. Stadtregionen ($2,00 \text{ m}^3/\text{m}^2$) ebenfalls nur geringe Unterschiede aufweist.

Es kann der Schluss gezogen werden, dass die Flächenanteile mit der Vegetationsschichtung „hoch“, die im Mittel der Städte bzw. Stadtregionen bei 20 % bzw. 21 % liegen (Abb. 8/01), für das Niveau des Grünvolumens der entscheidende nutzungsstrukturelle Faktor sind. Auffällig sind die weit auseinander liegenden Extremwerte des spezifischen Vegetationsvolumens der Vegetationsschicht „hoch“, dessen Maximum in der Kernstadt bzw. der Stadtregion Suhl mit $5,24 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bzw. $5,22 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ermittelt wurde.

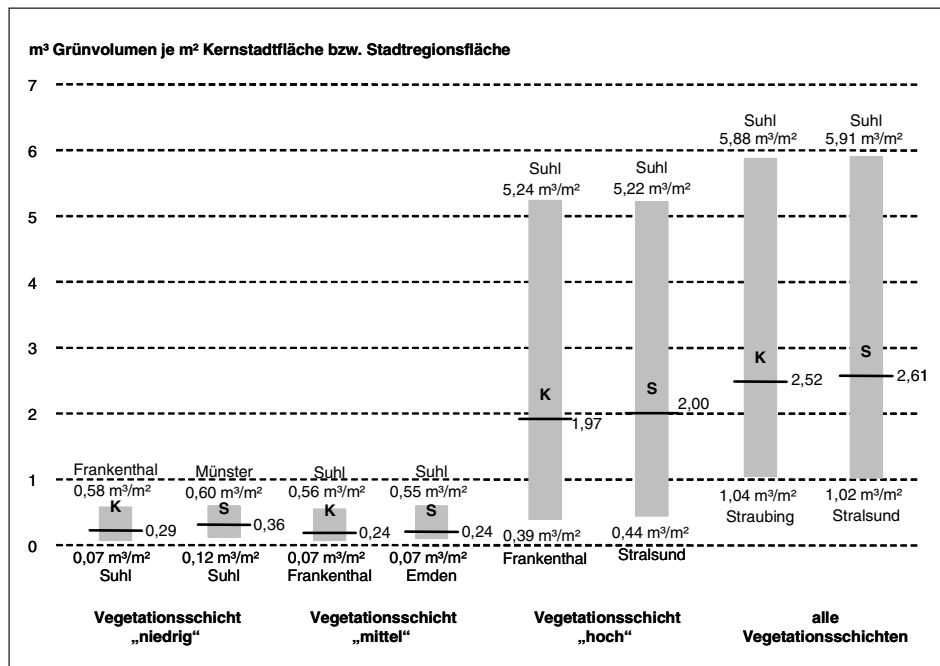


Abb. 8/04: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der spezifischen Grünvolumen von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Das **spezifische Grünvolumen der Siedlungsräume** von Kernstädten und Stadtregionen bewegt sich in einer kleinen Bandbreite von ca. $1,80 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bis $2,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Abb. 8/05) und wird grundlegend vom Volumen der Vegetationsschicht „hoch“ bestimmt. Bezogen auf einen Hektar Siedlungsfläche entspricht der Bandbreitenunterschied von $0,35 \text{ m}^3/\text{m}^2$ einem Äquivalent von 2 Bäumen mit einem kugelförmigen Durchmesser von 15 m.

Durch das **spezifische Grünvolumen der Freiräume** erfahren Kernstädte und Stadtregionen ihre vegetationsstrukturelle Prägung. Die Mittelwerte von Kernstadt ($2,80 \text{ m}^3/\text{m}^2$) und Stadtregion ($2,79 \text{ m}^3/\text{m}^2$) stimmen nahezu überein (Abb. 8/06). Im Unterschied zum Grünvolumen des Siedlungsraumes weisen die Extremwerte des Freiraumes deutliche Unterschiede zwischen $0,73 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Stralsund) und $6,87 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Suhl) bei den Kernstädten sowie zwischen $0,89 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Stralsund) und $6,33 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Suhl) bei den Stadtregionen auf. Die Größenordnung des spezifischen Grünvolumens im Freiraum wird durch die Vegetationsschicht „hoch“ grundlegend festgelegt. Die Beiträge der Vegetationsschichten „niedrig“ und „mittel“ zum spezifischen Grünvolumen des Freiraumes liegen im Mittel bei $0,40 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

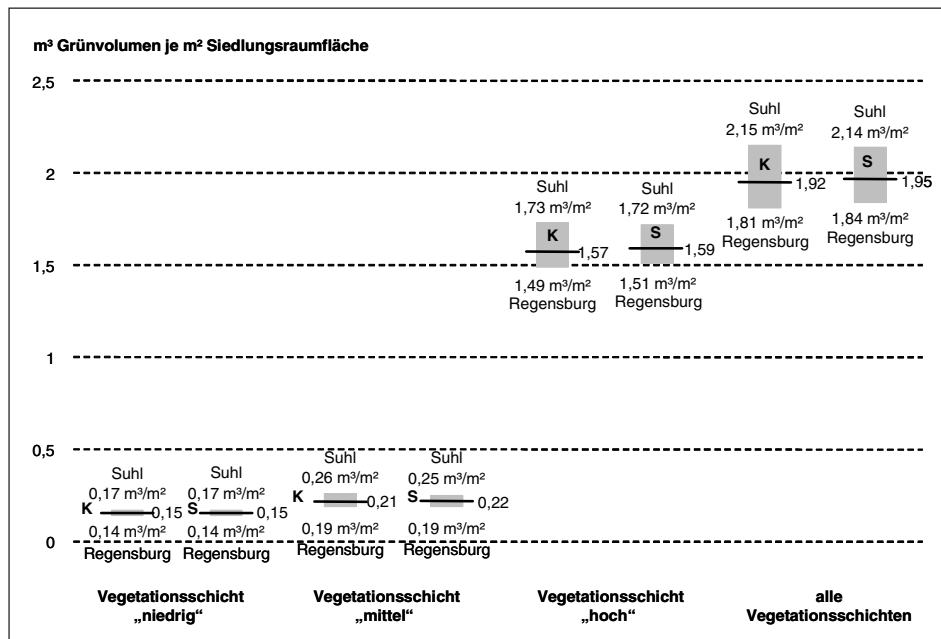


Abb. 8/05: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der spezifischen Grünvolumen in Siedlungsräumen von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

8.2 Histogramme einer Städtekategorie

Die Häufigkeitsverteilungen nach den stadtökologischen Kenngrößen Grünflächenanteil und Grünvolumen vermitteln die nutzungsstrukturelle Vielfalt der kreisfreien Städte Deutschlands und deren daraus hervorgehende Unterschiede in der stadtökologischen Qualität. Sie kennzeichnen die Rahmenbedingungen einer Städtekategorie in Deutschland und verdeutlichen die Notwendigkeit einer differenzierten Sichtweise auf Entwicklungspotenziale und -grenzen sowie auf Chancen und Risiken der Städte.

8.2.1 Grünflächenanteile (alle Vegetationsschichten)

Die **Grünflächenanteile der Kernstädte** liegen zwischen 55 % und 95 %. Sie sind nahezu normal verteilt (Abb. 8/07). In 63 % der Städte beträgt der Grünflächenanteil zwischen 70 % und 85 %. Sehr hohe Grünflächenanteile zwischen 85 % und 95 % an der Stadtfläche weisen 20 % der kreisfreien Städte auf. In dieser Anteilsklasse sind die komplementären Anteile der versiegelten und Wasserflächen sehr gering. In der Anteilsklasse von 55 % bis 65 %, also in Städten mit relativ niedrigen Grünflächenanteilen verschlechtert ein hoher komplementärer Versiegelungsflächenan-

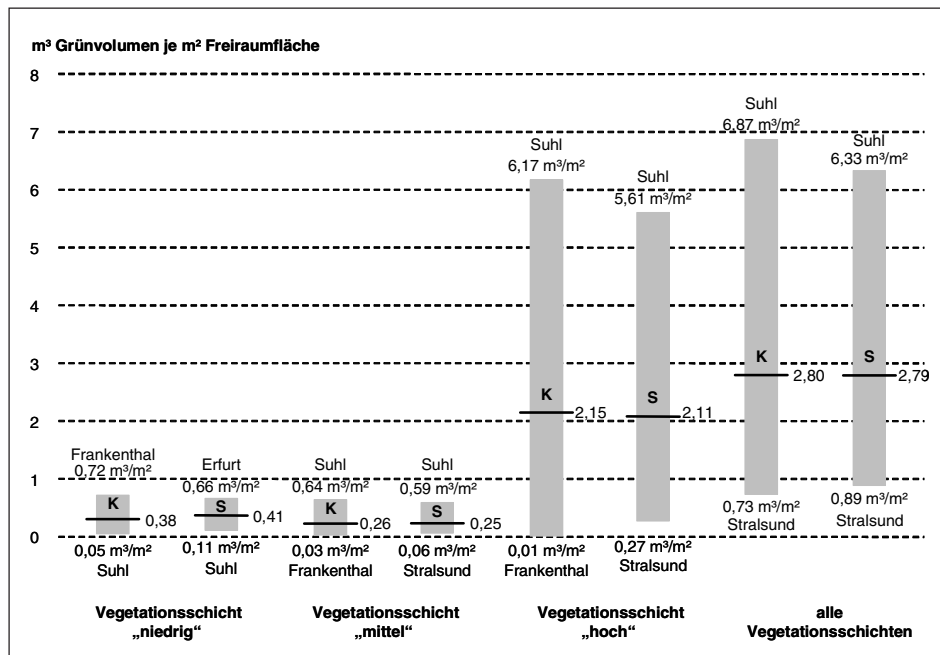


Abb. 8/06: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte der spezifischen Grünvolumen in Freiräumen von Kernstädten (K) und Stadtregionen (S) differenziert nach Vegetationsschichten (Quelle: Eigene Bearbeitung)

teil die stadtökologische Qualität (beispielsweise in Herne). Dagegen wirkt in Bremerhaven der hohe Wasserflächenanteil deutlich qualitätserhöhend.

Die Häufigkeitsverteilung der **Stadtregionen nach Grünflächenanteilen** weist gegenüber der Kernstadtverteilung keine Anteilsklassen unter 65 % auf. Die generell höheren Grünflächenanteile in den Stadtregionen erscheinen aufgrund der höheren Freiraumanteile in den Umlandgemeinden plausibel. Die Verteilung (Abb. 8/08) hat eine rechtsschiefe Tendenz. Bei 77 % der Regionen kreisfreier Städte beträgt der Grünflächenanteil mehr als 80 %. Die stadtregionalen Grünflächenanteile korrespondieren deutlich mit dem Grad der Verstädterung des Umlandes, der im Zusammenhang mit dem Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil der Umlandgemeinden steht. Die Anteilsklassen kleiner 80 % enthalten zahlreiche Stadtregionen des Ruhrgebietes, in dem die kreisfreien Städte hohe Siedlungs- und Verkehrsflächenanteile aufweisen und definitionsgemäß sowohl Kernstädte als auch Umlandgemeinden sind.

Ein Vergleich der **Grünflächenanteile an den Siedlungsräumen der Kernstädte** (Abb. 8/09) verdeutlicht die relativ geringen Unterschiede (maximal 10 %) der kreisfreien Städte bezüglich dieses Merkmals. Innerhalb des 10-%-Sektors zeichnet sich eine deutliche linksschiefe Häufigkeitsverteilung ab. Zwei Drittel der Siedlungsräu-

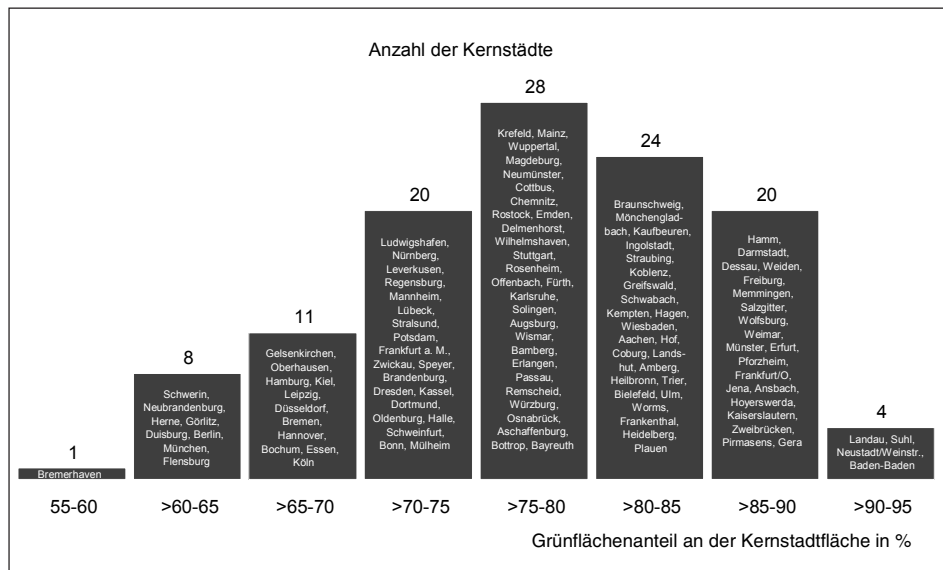


Abb. 8/07: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen der Grünflächenanteile
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

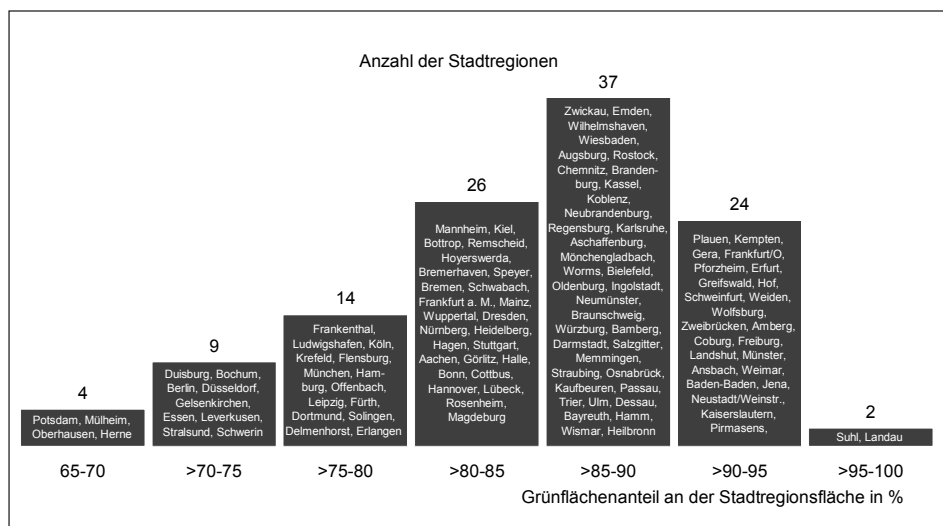


Abb. 8/08: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen der Grünflächenanteile
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

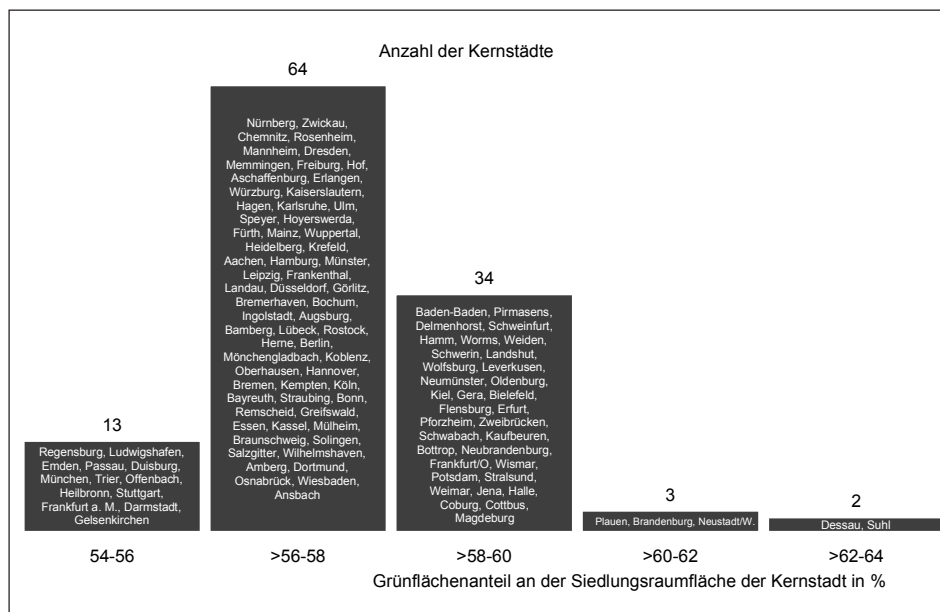


Abb. 8/09: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen der Grünflächenanteile am Siedlungsraum
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

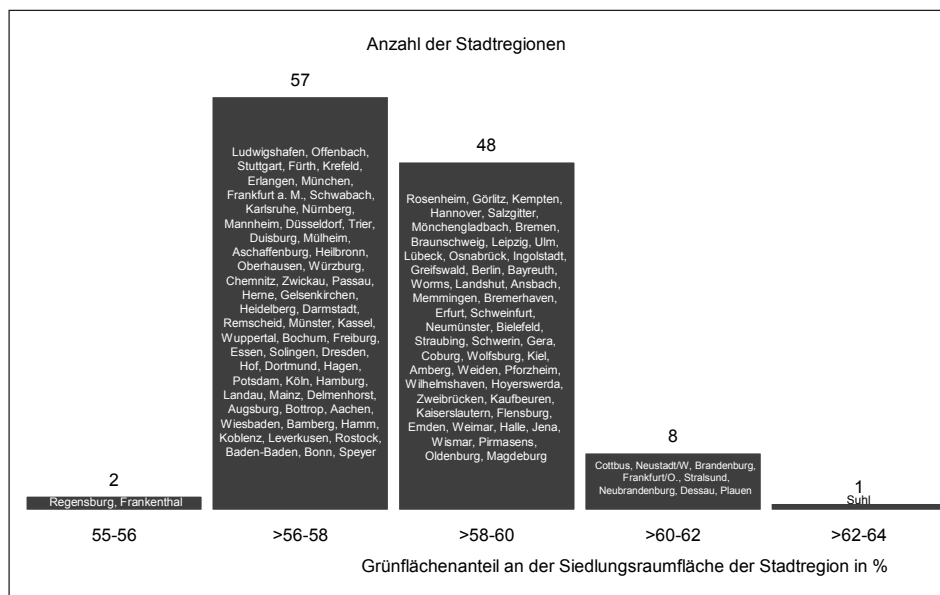


Abb. 8/10: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen der Grünflächenanteile am Siedlungsraum
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

me sind durch einen Grünflächenanteil zwischen 54 % und 58 % gekennzeichnet. Nur in fünf kreisfreien Städten Deutschlands liegt der Grünflächenanteil des Siedlungsraumes über 60 %.

Die Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach dem Grünflächenanteil am Siedlungsraum ähnelt der der Kernstädte (Abb. 8/10). 92 % der Stadtregionen haben in den Siedlungsräumen einen Grünflächenanteil zwischen 55 % und 60 %. In 9 Stadtregionen weisen die Siedlungsräume Grünflächenanteile größer 60 % auf. Die Stadtregion Suhl erreicht mit 62 % bis 64 % den höchsten Grünflächenanteil im Siedlungsraum und zugleich die geringsten komplementären Anteile an versiegelter und Wasserfläche.

8.2.2 Spezifisches Grünvolumen (alle Vegetationsschichten)

Das Grünvolumen ist eine dreidimensionale Kenngröße mit signifikantem Einfluss auf die stadtökologische Qualität. Es steht neben Baukörpern und Baustrukturen in direkter Beziehung zum Luftvolumenstrom in der bodennahen Atmosphäre und beeinflusst die lufthygienische und bioklimatische Situation (Vogt 2002, 570). Das spezifische Grünvolumen für Kernstädte bzw. Stadtregionen gibt als theoretischer Wert die mittlere Vegetationshöhe je m² Bezugsfläche an. Es ist im Rahmen des Vergleichs der 116 kreisfreien Städte zur Entwicklung von Maßstäben und Skalen für die generelle Bewertung lufthygienischer Austausch- und bioklimatischer Ausgleichsleistungen von Städten und Regionen geeignet. Die Kenngröße ist in Analogie zur Grünvolumenzahl für teilstädtische Gebiete von Großmann, Pohl, Schulze (1984) und unter Beachtung der von Beisch (1998) für Baustrukturtypen ermittelten Volumenäquivalenzhöhe nach Feldkötter (1994) entwickelt worden.

Die linksschiefe Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach dem Grünvolumen je m² Kernstadtfläche verdeutlicht das vergleichsweise geringe spezifische Grünvolumen bis 3 m³/m² für die Mehrheit (73 %) der kreisfreien Städte Deutschlands (Abb. 8/11).

Das spezifische Grünvolumen zwischen 3 m³/m² und 6 m³/m² in den restlichen kreisfreien Städten geht auf vergleichsweise hohe Anteile der Vegetationsschichtungen „mittel“ (Sträucher, Hecken, Gebüsch, Bäume) und „hoch“ (Bäume) zurück.

Die spezifischen Grünvolumen von Kernstädten und Stadtregionen liegen in einer vergleichbaren Größenordnung. Die Verteilung der Stadtregionen nach dem **Grünvolumen je m² Stadtregionsfläche** ähnelt der der Kernstädte sowohl in der Skala als auch in der Häufigkeit (Abb. 8/12). Die Zahl der Stadtregionen liegt in den Anteilklassen größer 2 m³/m² über der der Kernstädte.

Die Skala des **spezifischen Grünvolumens der Siedlungsräume** schließt nur Klassen bis 2,20 m³/m² ein. Die Siedlungsräume der Kernstädte und Stadtregionen gleichen sich in der Klassenverteilung. In den Klassen bis 2 m³/m² liegen 77 % der Sied-

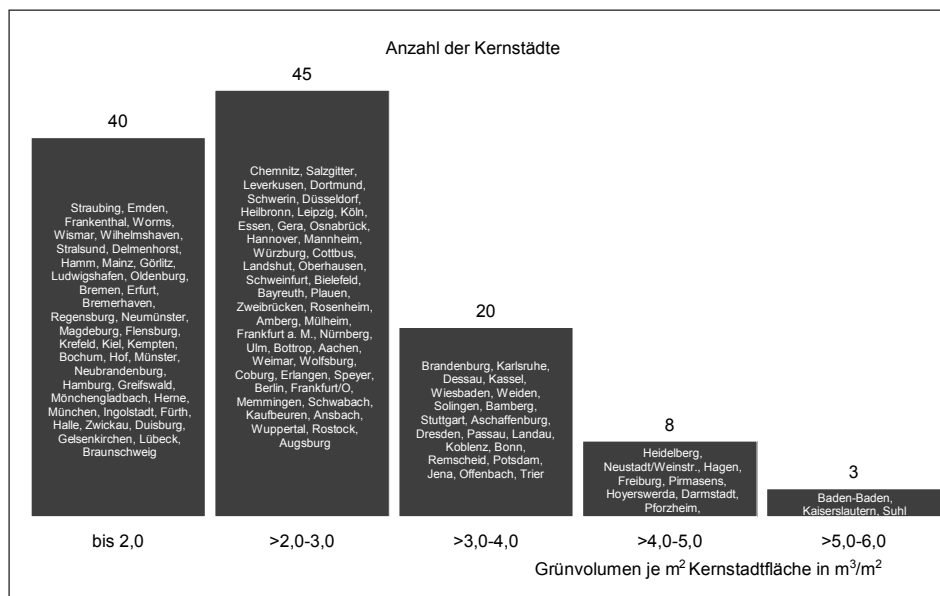


Abb. 8/11: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen des spezifischen Grünvolumens
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

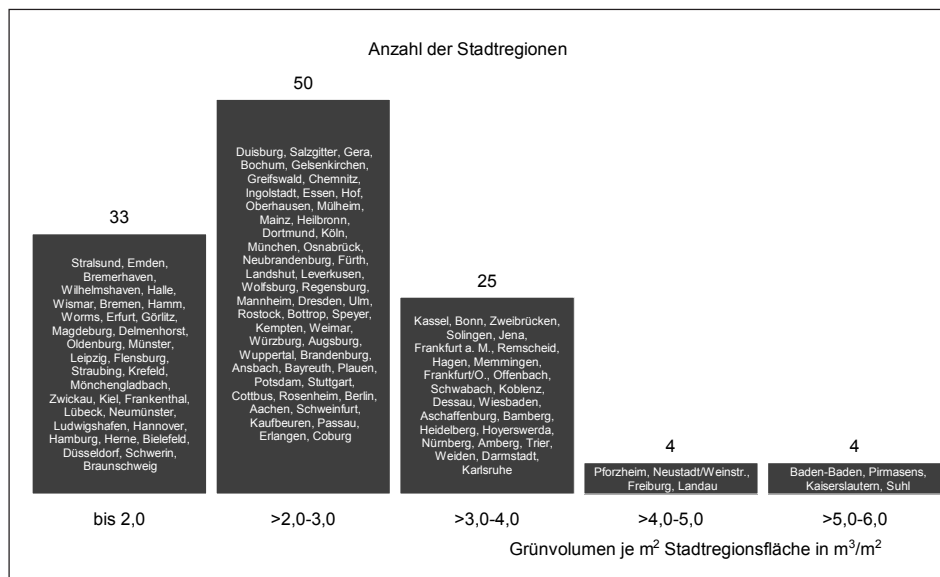


Abb. 8/12: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen des spezifischen Grünvolumens
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

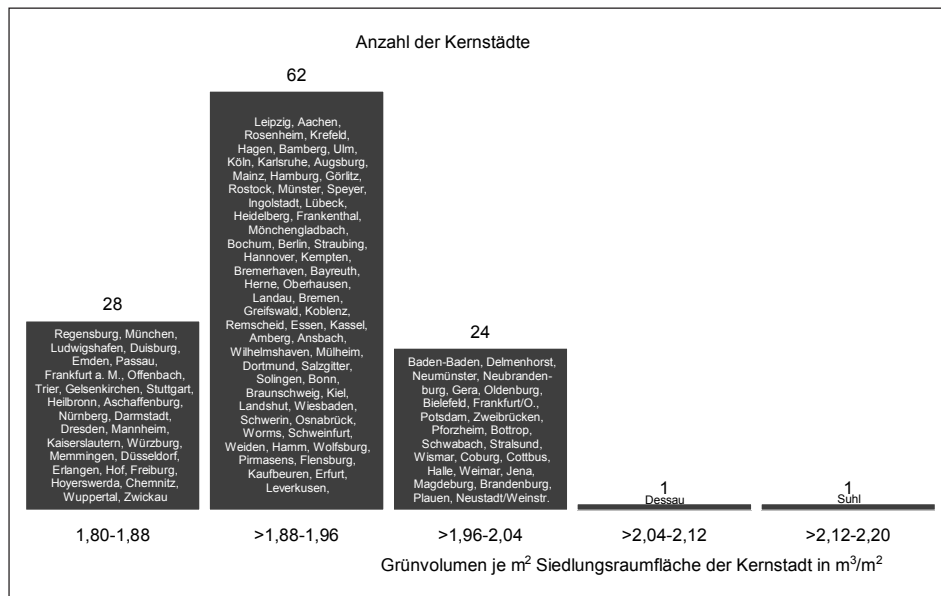


Abb. 8/13: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Kernstädte nach Klassen des spezifischen Grünvolumens in Siedlungsräumen (Quelle: Eigene Bearbeitung)

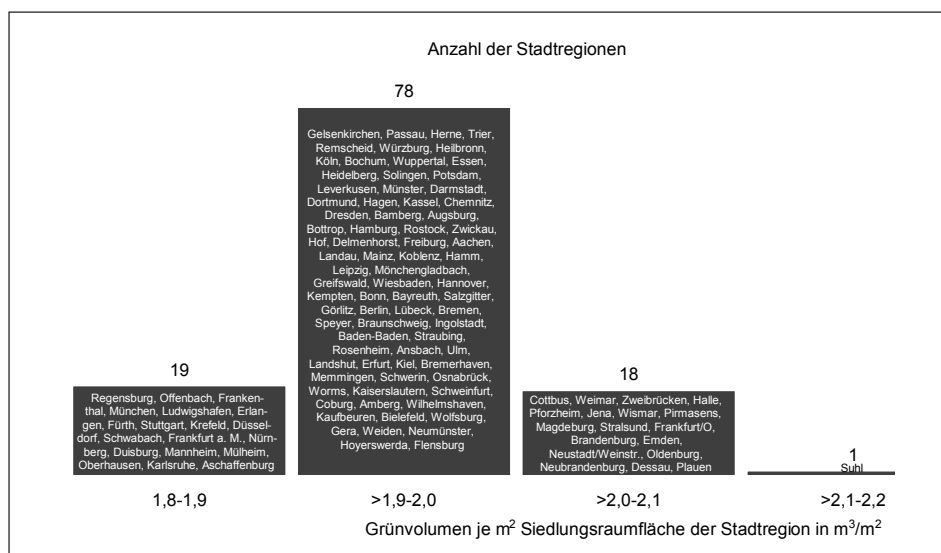


Abb. 8/14: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung der Stadtregionen nach Klassen des spezifischen Grünvolumens in Siedlungsräumen (Quelle: Eigene Bearbeitung)

lungsräume der Kernstädte und 83 % der Siedlungsräume der Stadtregionen (Abb. 8/13, 8/14). Das spezifische Grünvolumen der Siedlungsräume ist gegenüber dem der Freiräume im Mittel um ca. $0,85 \text{ m}^3/\text{m}^2$ geringer (Tab. 8/01). Davon ausgehend wird das gesamtstädtische bzw. stadtregionale Niveau des spezifischen Grünvolumens durch die Proportionen zwischen Siedlungs- und Freiraum von Städten und Stadtregionen grundlegend bestimmt. Erkennbar ist eine grobe Orientierung, nach der ein Siedlungsraumanteil zwischen 10 % und 50 % mit gesamtstädtischen und stadtregionalen spezifischen Grünvolumen zwischen $6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ in Beziehung steht. In Städten und Stadtregionen mit Siedlungsraumanteilen größer 50 % liegt das spezifische Grünvolumen in der Regel unter $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

9 Grünmuster der 116 kreisfreien Städte Deutschlands – Kenngrößen und Skalen

Grünmuster sind stadttypische räumliche Verteilungen von Grünflächen, deren Darstellung und Messung auf der Grundlage des Rasteransatzes und mithilfe der Kenngrößen Isolationsmaß (dimensionslos), Lakunaritätsmaß (%) und Verbundmaß (%) möglich sind (Abschnitt 4). Die Analyse der Grünmuster der 116 kreisfreien Städte Deutschlands erfolgt mithilfe des Städtevergleichs und einer Clusteranalyse. Sie zielt auf die Häufigkeitsverteilung der Städte nach den räumlichen Kenngrößen und auf Stadttypen, deren Prägung von den Variablen Isolationsmaß, Lakunaritätsmaß und Verbundmaß ausgeht. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich die stadtypologischen Untersuchungen im Abschnitt 10 auf weitere Clusteranalysen stützen, die neben den räumlichen Kenngrößen weitere nutzungsstrukturelle Kenngrößen mit signifikantem Einfluss auf die stadtökologische Qualität berücksichtigen.

Die kreisfreien Städte Deutschlands weisen im Isolations-, Lakunaritäts- und Verbundmaß relativ große Bandbreiten auf (Tab. 9/01). Die Wirkungsrichtungen auf die stadtökologische Qualität sind negativ (Isolationsmaß) und positiv (Lakunaritäts- und Verbundmaß).

Tab. 9/01: Extrema der räumlichen Kenngrößen und Repräsentantenstädte
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Kenngrößen	Minimum		Maximum	
	Wert	Städte	Wert	Städte
Isolationsmaß [-]	7	Rosenheim	215	Berlin
Lakunaritätsmaß [%]	41	Herne	93	Baden-Baden, Neustadt/W., Suhl
Verbundmaß [%]	15	Duisburg	100	Neustadt/Weinstr., Plauen, Pirmasens, Suhl, Wolfsburg

9.1 Histogramme räumlicher Kenngrößen

9.1.1 Isolationsmaß

Das Isolationsmaß spiegelt sowohl die räumliche Dispersion als auch die räumliche Isolation von Grünflächen einer Stadt wider. Es nimmt in der Tendenz zu, je größer

die Stadtfläche ist. Isolationsmaß und Stadtfläche korrelieren sehr hoch miteinander (Korrelationskoeffizient = 0,95). Als dimensionslose Größe belegt es das Wertespektrum von 7 bis 215. Rosenheim hat das kleinste Isolationsmaß, Berlin das größte (Tab. 9/01). Die Verteilung von 116 kreisfreien Städten Deutschlands nach dem Isolationsmaß hat eine der gebrochenen rationalen Funktion $1/x$ ähnliche Form (siehe Abb. 9/01). Von 116 fallen 99 Städte (85 %) auf das kleinste Intervall $[\geq 7$ und $<49]$ des Wertespektrums.

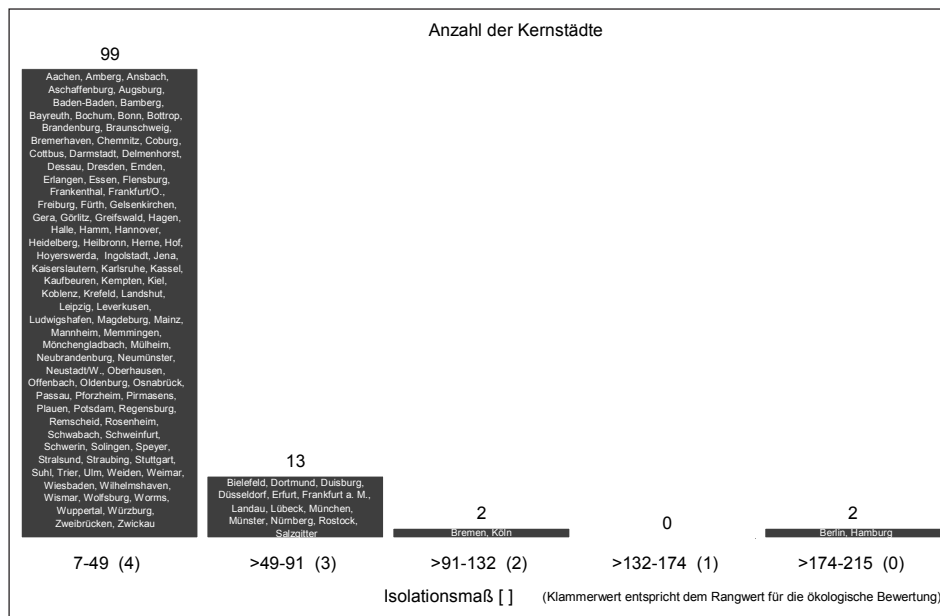


Abb. 9/01: Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach dem Isolationsmaß
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

9.1.2 Lakunaritätsmaß

Lakunarität ist ein Maß für die Löchrigkeit von Gebilden. Schwarz- und Grünmuster einer Stadt sind komplementäre Gebilde. Für das Schwarzmuster können die Grünzellen eines Rasters als Löcher betrachtet werden. Das Lakunaritätsmaß korreliert sehr hoch mit dem Grünflächenanteil. Wenn die Grünflächen einer Stadt gleichmäßig gering in den Zellen eines Rasters mit 100 m x 100 m Kantenlänge verteilt sind, kann das Lakunaritätsmaß in dieser Stadt, trotz relativ hohem Grünflächenanteil, sehr klein ausfallen (siehe Tab. 9/02). Umgekehrt kann das Lakunaritätsmaß größer als der Grünflächenanteil sein, wenn die Grünflächen konzentriert in den Rasterzellen auftreten. Unter den kreisfreien Städten gibt es mit Neustadt/Weinstr., Suhl und Ansbach drei Städte, bei denen das Lakunaritätsmaß größer ist als der Grünflächenanteil (Tab. 9/02).

Tab. 9/02: Übersicht über ausgewählte Städte mit positiven und negativen Differenzen zwischen Grünflächenanteil und Lakunaritätsmaß
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Stadtname	Grünflächenanteil [%]	Lakunaritätsmaß [%]	Differenz
Herne	63	41	22
München	64	45	20
Gelsenkirchen	65	48	17
Oberhausen	66	49	17
Berlin	64	48	16
Duisburg	63	47	16
Neustadt/Weinstr.	92	93	-1
Suhl	92	93	-1
Ansbach	89	91	-2

Extremwerte für das Lakunaritätsmaß wurden für die Städte Herne (41 %) sowie Baden-Baden, Neustadt/Weinstr. und Suhl (93 %) ermittelt (Tab. 9/01). Das Histogramm zum Lakunaritätsmaß lässt eine rechtsschiefe Verteilung der kreisfreien Städte erkennen und weist für 87 Städte (75 %) ein Lakunaritätsmaß von mindestens 62 % aus (Abb. 9/02).

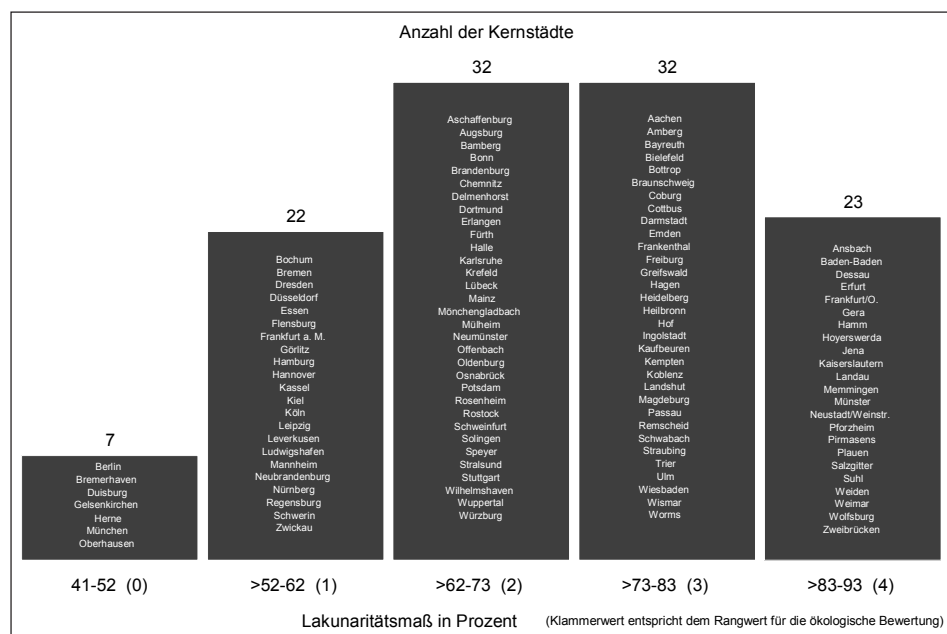


Abb. 9/02: Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach dem Lakunaritätsmaß
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

9.1.3 Verbundmaß

Das Verbundmaß ist ein Maß für die Vernetzung städtischer Grünflächen. Unter den kreisfreien Städten weist Duisburg mit 15 % das kleinste Verbundmaß auf (Tab. 9/01). Die Grünflächen der fünf Städte Neustadt/Weinstr., Plauen, Pirmasens, Suhl und Wolfsburg sind sogar vollständig miteinander verbunden (Verbundmaß = 100 %, Tab. 9/01). Eine Verteilung mit zwei Gipfeln wurde für die 116 kreisfreien Städte ermittelt (Abb. 9/03). In der höchsten Klasse für das Verbundmaß liegen 50 Städte (45 %). Der andere Gipfel der Verteilung weist für 32 Städte (28 %) die mittlere Stufe des Verbundmaßes aus.

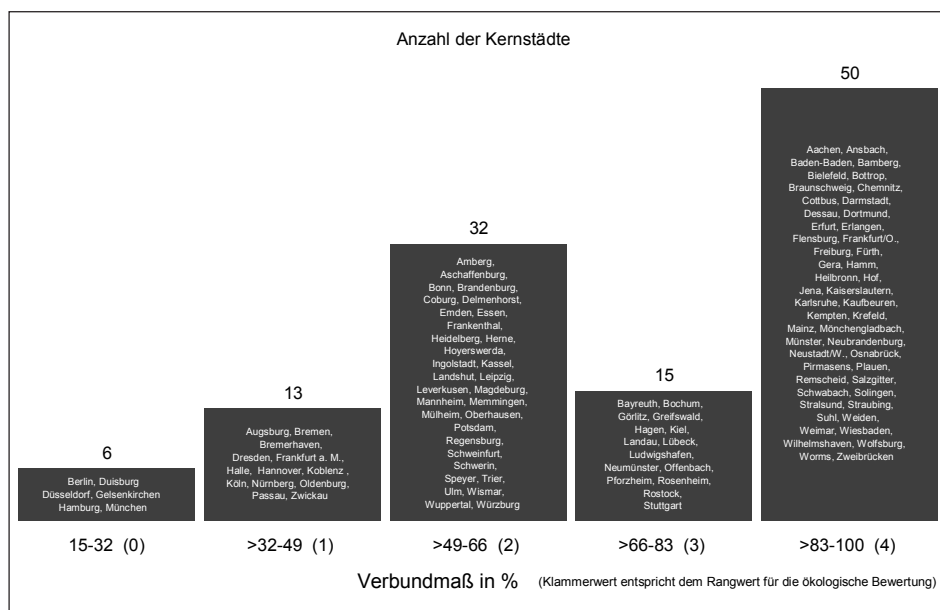


Abb. 9/03: Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach dem Verbundmaß
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

9.2 Typisierung der 116 kreisfreien Städte Deutschlands nach Grünmustern

In den stadttypologischen Untersuchungen zur Identifizierung von Städten mit typischen Grünmustern finden folgende räumliche Kenngrößen und Kenngrößen zur Beschreibung der Grünflächen- bzw. Grünvolumensituation Berücksichtigung:

- (1) Isolationsmaß in der Kernstadt [-],
- (2) Lakunaritätsmaß in der Kernstadt [%],
- (3) Verbundmaß in der Kernstadt [%],

- (4) Flächenspezifisches Grünvolumen des Siedlungsraumes der Kernstadt [m^3/m^2],
- (5) Flächenspezifisches Grünvolumen der Kernstadt [m^3/m^2],
- (6) Flächenspezifisches Grünvolumen der Schicht „niedrig“ in der Kernstadt [m^3/m^2],
- (7) Flächenspezifisches Grünvolumen der Schicht „mittel“ in der Kernstadt [m^3/m^2],
- (8) Flächenspezifisches Grünvolumen der Schicht „hoch“ in der Kernstadt [m^3/m^2],
- (9) Grünflächenanteil der Kernstadt [%],
- (10) Grünflächenanteil „niedrig“ an der Kernstadtfläche [%],
- (11) Grünflächenanteil „mittel“ an der Kernstadtfläche [%] und
- (12) Grünflächenanteil „hoch“ an der Kernstadtfläche [%].

Die Kenngrößenauswahl erfolgte anhand der Ergebnisse einer Korrelationsanalyse im Ausschlussverfahren. Aufgrund der hohen bis sehr hohen Korrelationen des Grünvolumens mit den Kenngrößen 6 bis 10 und 12 sowie starker korrelativer Beziehungen zwischen der Lakunarität und dem Grünflächenanteil sind die Kenngrößen 1 bis 5 als Grünmustervariable in die Stadttypisierung eingegangen. Die Entscheidung für die Lakunarität anstelle des Grünflächenanteils ist vor dem Hintergrund getroffen worden, dass Städte mit gleichem Grünflächenanteil unterschiedliche räumliche Grünflächenverteilungen und damit unterschiedliche Lakunaritätsmaße aufweisen.

Im Hinblick auf eine Ableitung von Empfehlungen für die Grünflächenämter der Städte sollen die Grünmuster der 116 kreisfreien Städte fünf Clustern mit unterschiedlichen ökologischen Qualitätsniveaus zugeordnet werden. Es wird von folgenden Thesen ausgegangen:

- Das Isolationsmaß steht in einer negativen Beziehung zur stadtoökologischen Qualität (je höher das Isolationsmaß, umso niedriger das ökologische Qualitätsniveau).
- Lakunaritätsmaß, Verbundmaß und flächenspezifisches Grünvolumen stehen in einer positiven Beziehung zur stadtoökologischen Qualität (jede Veränderung der räumlichen Grünflächenverteilung, die die Lakunarität und/oder den Grünflächenverbund erhöht, bewirkt eine Verbesserung der stadtoökologischen Qualität; in gleicher Richtung wirkt die Erhöhung des flächenspezifischen Grünvolumens).

Aufgrund des unterschiedlichen Wertespektrums der ausgewählten Kenngrößen und der wahrscheinlichen Dominanz von Kenngrößen mit großem Werteumfang bei der Clusterbildung erwies es sich als sinnvoll, die fünf Kenngrößen in ordinal skalierte Variable zu transformieren. Dabei wurde das Wertespektrum jeder Variablen in 5 äquidistante Intervalle eingeteilt und der Wert der Variablen einer Rangzahl zwischen 0 und 4 zugeordnet. Je höher die Rangzahl ist, desto höher kann das ökolo-

gische Qualitätsniveau des Grünmusters eingeschätzt werden. Die Kenngrößen-Transformation erhöht den Homogenitätsgrad und die Plausibilität der Städte-Cluster. Sie erleichtert darüber hinaus die Anwendung von ordnungstheoretischen Verfahren wie der Hasse-Diagrammtechnik.

In der Clusteranalyse gelangten die Ward-Methode (Statistikprogramm SPSS, Version 10) mit anschließender Diskriminanzanalyse sowie eine in diesem Forschungsrahmen entwickelte Ranking-Methode mit folgenden transformierten Clustervariablen zur Anwendung:

- (1) Isolationsmaß in der Kernstadt [-],
- (2) Lakunaritätsmaß in der Kernstadt [%],
- (3) Verbundmaß in der Kernstadt [%],
- (4) Flächenspezifisches Grünvolumen des Siedlungsraumes der Kernstadt [m^3/m^2],
- (5) Flächenspezifisches Grünvolumen der Kernstadt [m^3/m^2].

Das Ergebnis der Ward-Methode ist unbefriedigend, weil sowohl die Homogenität der Variablen innerhalb der Cluster nicht weitgehend ist als auch die Eigenschaftsstrukturen der Cluster nicht immer eindeutige Tendenzen aufweisen.

Die Clusterbildung ist in einem zweiten Schritt mit der Ranking-Methode durchgeführt worden¹⁶.

Das Ergebnis ist eine der Normalverteilung ähnliche Verteilung der kreisfreien Städte Deutschlands nach Grünmustern. Das stadtökologische Qualitätsniveau ist von Cluster I bis V steigend (Abb. 9/04). Eine Strukturanalyse belegt, dass die Cluster I bis V der Grünmuster deutlich unterschiedliche ökologische Skalenniveaus von sehr niedrig (Cluster I) über mittel (Cluster III) bis sehr hoch (Cluster V) aufweisen.

Die clusterdifferenzierte kartografische Darstellung der Grünmuster ausgewählter Städte (Abb. 9/06 bis 9/10) vermittelt typische Grünflächenverteilungen, die durch Abnahme isolierter Grünflächen und Zunahme des Grünflächenverbundes vom Cluster I zum Cluster V charakterisiert sind.

Das Ergebnis der Klassifizierung der Grünmuster nach der Ranking-Methode wurde mit der Hassediagramm-Technik weiter analysiert. Mithilfe dieses ordnungstheoretischen Verfahrens konnte für die 116 Grünmuster die längste Kette gefunden werden (Abb. 9/05).

¹⁶ Die Ranking-Methode legt die Summe der Rangwerte der fünf ordinal skalierten Variablen einer Aufteilung in fünf etwa gleichmäßige Intervalle zugrunde. Diesen Intervallen entsprechend erfolgt die Gruppierung der Städte zu fünf Clustern.

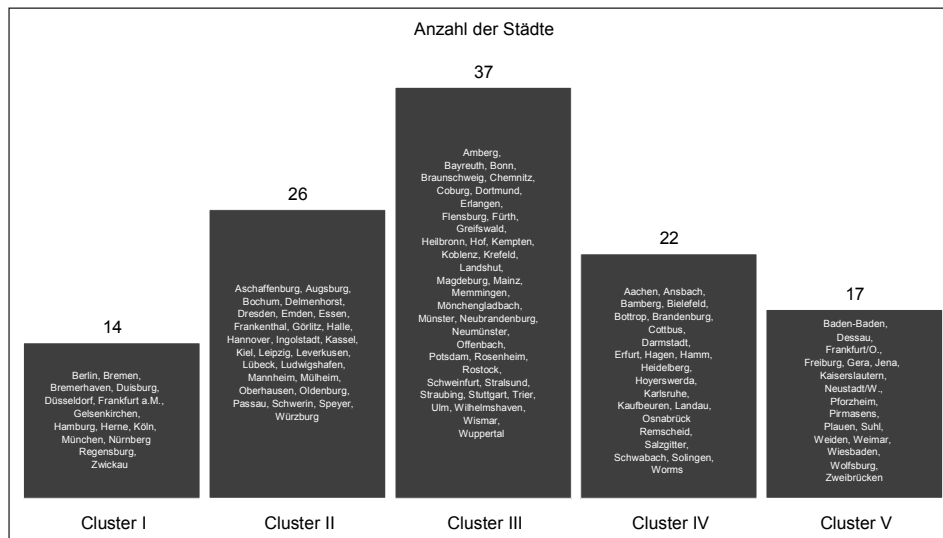


Abb. 9/04: Typisierung der 116 Grünmuster der kreisfreien Städte Deutschlands
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

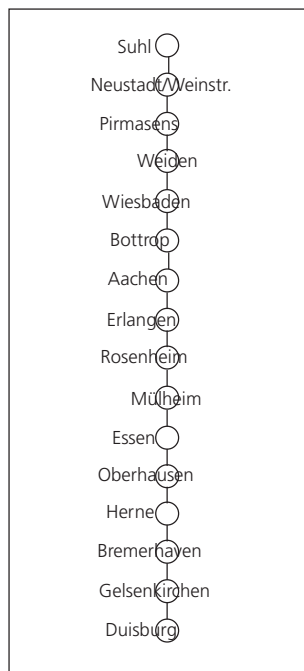


Abb. 9/05:
Ordnungstheoretische Bewertung städtischer Grünmuster
nach dem Hassediagramm; Darstellung der längsten
Grünmuster-Kette von 116 Grünmustern
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

In dieser Kette gilt: Wenn eine Stadt A höher als eine andere B steht, so ist das ökologische Qualitätsniveau des Grünmusters von A höher als das von B. Und dies gilt gleichzeitig auch für die Rangwerte aller 5 betrachteten Merkmalsvariablen.

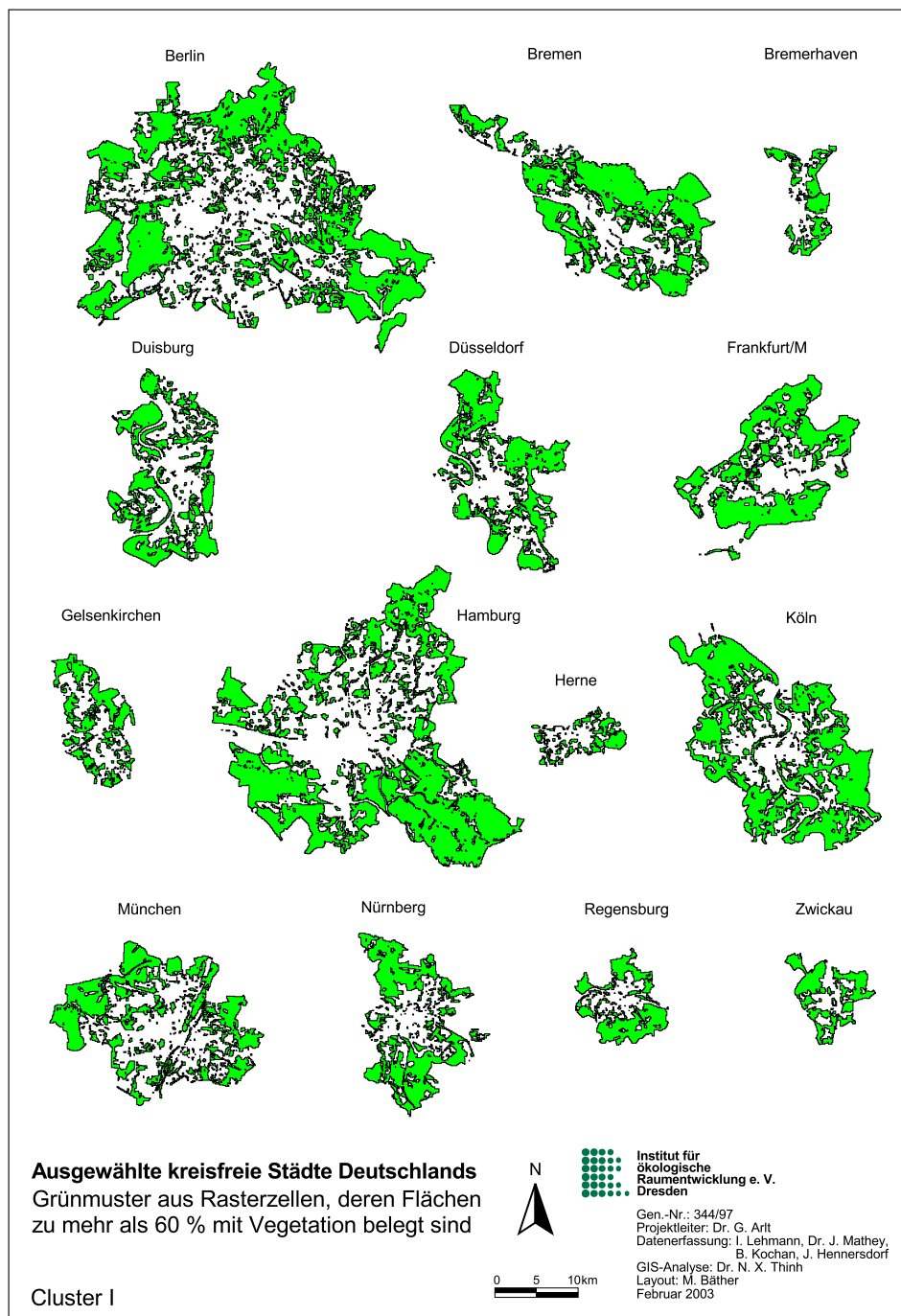


Abb. 9/06: Ausgewählte Grünmuster des Cluster I
(Quelle: Eigene Bearbeitung)



Abb. 9/07: Ausgewählte Grünmuster des Clusters II
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

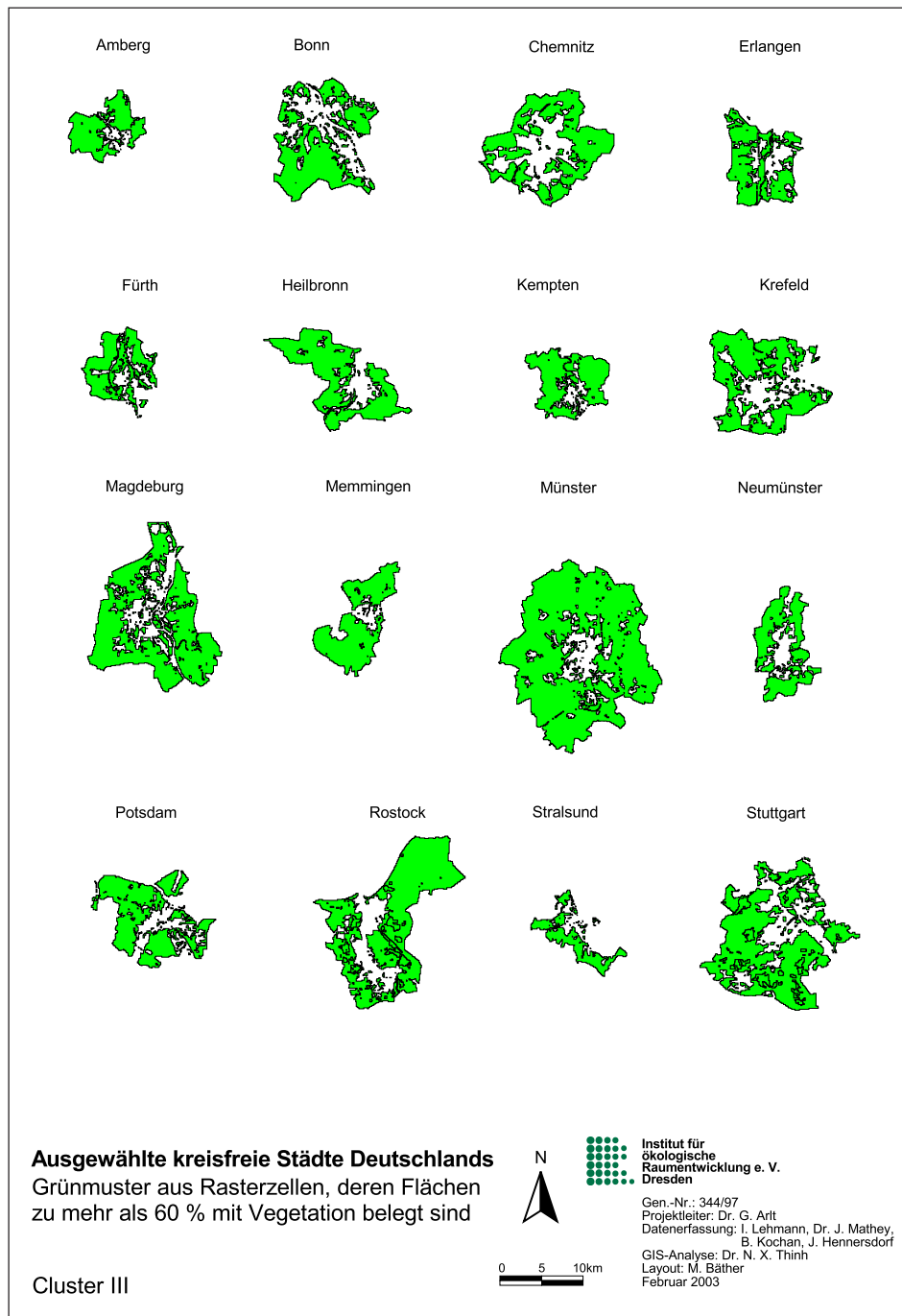


Abb. 9/08: Ausgewählte Grünmuster des Clusters III
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

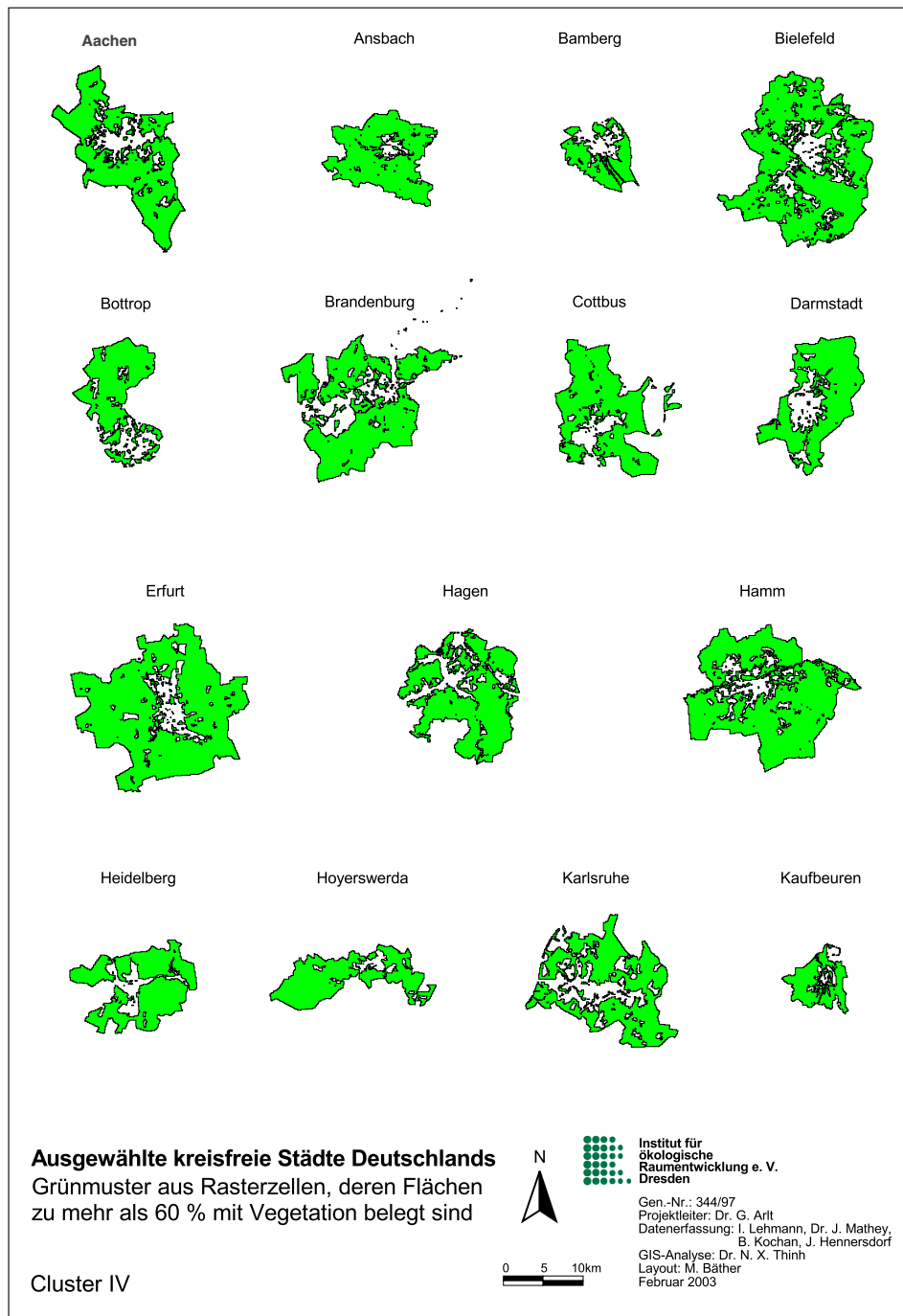


Abb. 9/09: Ausgewählte Grünmuster des Clusters IV
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

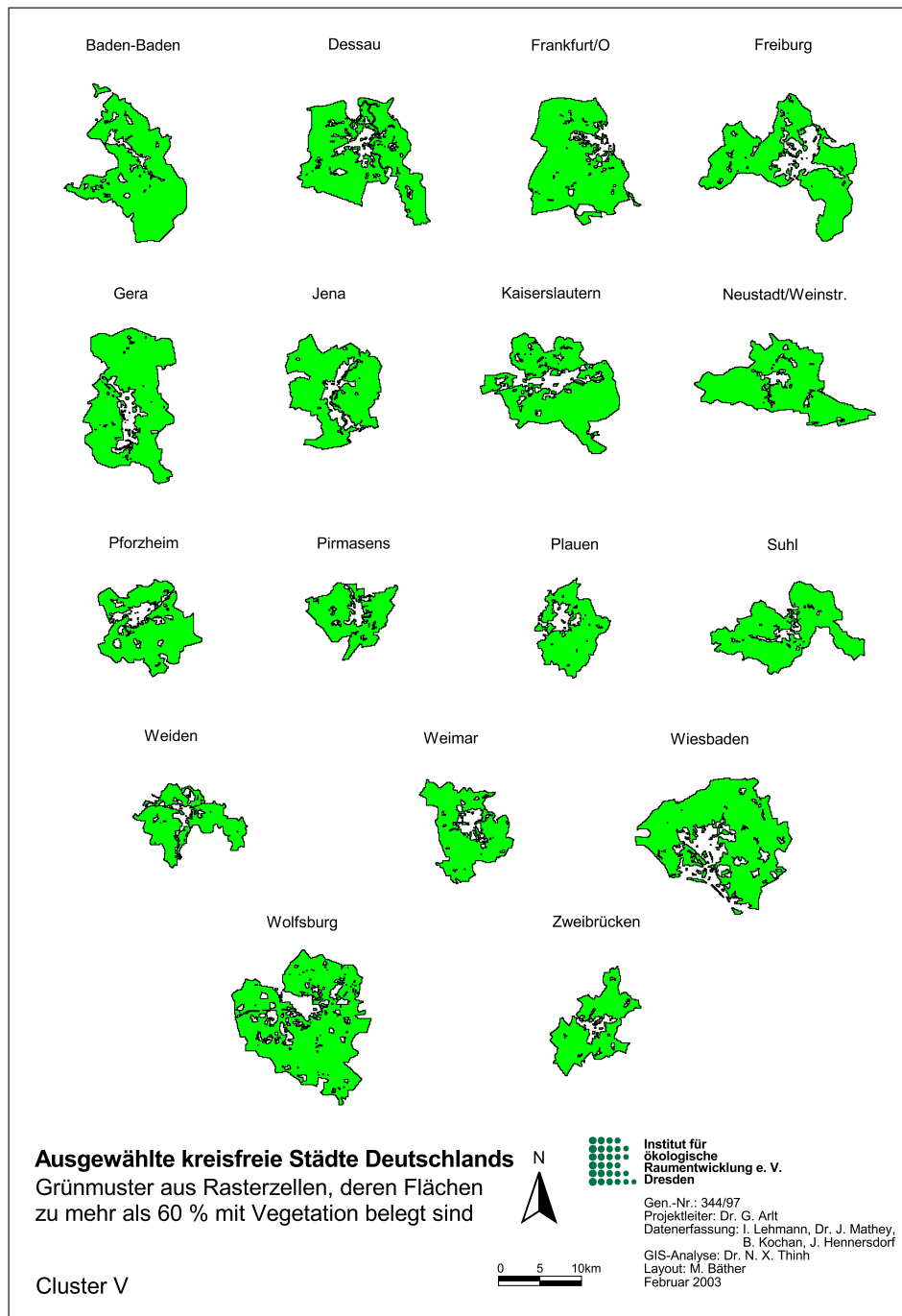


Abb. 9/10: Ausgewählte Grünmuster des Clusters V
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

10 Wirkungsbeziehungen zwischen Stadtstruktur, Grünflächenanteilen und Grünvolumen – Regionalstatistisches Untersuchungsprogramm

Lagewerte der Grünflächenanteile und spezifischen Grünvolumen sowie Histogramme der kreisfreien Städte (Abschnitt 8) charakterisieren die strukturellen Rahmenbedingungen und Unterschiede einer Städtekatgorie Deutschlands. Art und Maß städtischer bzw. stadtreionaler Grünflächen und -volumen unterliegen einem starken Einfluss der Flächennutzungsstruktur. Die Flächennutzungsstruktur zeichnet als räumliches Ordnungsgefüge von Flächen unterschiedlicher Nutzungsarten das Leistungsbild der Städte und erweist sich als signifikanter Einflussfaktor auf Klima, Lufthygiene, Wasserhaushalt und naturbetonte Biotope mit der Bedeutung für Gesundheit, Ernährung und Erholung der städtischen Bevölkerung.

Die wirkungsanalytischen Untersuchungen legen ein regionalstatistisches Untersuchungsprogramm zugrunde und beziehen ausgewählte strukturelle und phänomenologische Kenngrößen ein. Es sind partielle Untersuchungen innerhalb des zirkulär-kausalen Zusammenhanges zwischen Prozessen, Strukturen und Phänomenen (vgl. Arlt, Weise 1999, 118), deren Gegenstand die Wirkungsbeziehungen zwischen Stadt- und Flächennutzungsstrukturen und den nach Vegetationsschichtung differenzierten Grünflächen und -volumen sind. Dabei ermöglichen die Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsanalyse keine Feststellungen über kausale Zusammenhänge und werden in diesem Kontext auch nicht interpretiert¹⁷. Es werden korrelative Zusammenhänge dargestellt und in stochastischen Modellen zusammengeführt. Es ist die Frage zu beantworten, inwieweit die Varianzen der nutzungsstrukturellen Variablen die Varianzen der Variablen Grünflächenanteile und -volumen erklären. In den Untersuchungen der Wirkungsbeziehungen zwischen Stadt- und Flächennutzungsstrukturen sowie Grünflächen und -volumen finden einschlägige regionalstatistische Methoden mithilfe des Datenanalysesystems SPSS¹⁸ Anwendung. Das regionalstatistische Untersuchungsprogramm wurde vor dem Hintergrund erkannter und vermuteter sachlogischer Zusammenhänge entwickelt (Übersicht 10/01).

Der Programmschwerpunkt liegt auf der qualitativen und quantitativen Beschreibung der nutzungsstrukturellen Beziehungen von Grünflächenanteilen und Grünvolumen.

¹⁷ Korrelation und Kausalität unterscheiden sich in den verursachenden (ursächlichen) Wirkfaktoren und der Ursache-Wirkungsrichtung. Cerwenka (1999, 209) betont, dass in der Korrelation über die eigentlichen verursachenden Wirkfaktoren und über die Ursache-Wirkungsrichtung a priori nichts ausgesagt werden kann. Korrelationen zwischen Struktur und Zustand können als notwendige, aber noch keineswegs hinreichende Bedingung für das Vorhandensein von Kausalität zwischen der Lebens-, Arbeits- und Wirtschaftsweise und beispielsweise der städtischen Grünausstattung gesehen werden.

¹⁸ SPSS (Statistical Product and Service Solutions) für Windows, Version 10.

Übersicht 10/01: Regionalstatistisches Untersuchungsprogramm
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Statistische Verfahren und Methoden	Kernstädte							
	Grünflächenanteile Vegetationsschichtung				Grünvolumen Vegetationsschichtung			
	niedrig	mittel	hoch	insg.	niedrig	mittel	hoch	insg.
Faktorenanalyse	x	x	x	x	x	x	x	x
Multiple Regressionsanalyse				x		x	x	x
Clusteranalyse*				x				x
	Stadtregionen							
Faktorenanalyse	x	x	x	x	x	x	x	x
Multiple Regressionsanalyse				x	x	x	x	x

* Neben dem spezifischen Grünvolumen und dem Grünflächenanteil finden in der Clusteranalyse mit den Isolations- und Lakunaritätsmaßen der Grünmuster der Kernstädte auch räumliche Kenngrößen Berücksichtigung.

Die durchgeführten wirkungsanalytischen Untersuchungen konzentrieren sich auf einseitige Beziehungen der Variablen, in der Grünflächenanteile und Grünvolumen als abhängige Variable (Übersichten 10/02 und 10/03) und Stadt- und Flächennutzungsstrukturen als unabhängige Variable definiert werden. Die Untersuchung gerichteter Wirkungsbeziehungen orientiert sich am Untersuchungsziel, das im Aufzeigen von Möglichkeiten und Grenzen der nutzungsstrukturellen Einflussnahme auf die städtischen Flächenleistungen besteht. Es ist davon auszugehen, dass die Wirkungsbeziehungen nur in den seltensten Fällen einseitig sind. Nutzungsstrukturelle Entwicklungen sind einerseits weitgehend das Resultat sozioökonomischer Entwicklungen und somit auch des städtischen Leistungsvermögens, andererseits sind sie aber Voraussetzung dieser Entwicklungen.

Übersicht 10/02: Abhängige Variable – ausgewählte Kenngrößen des Grünflächenanteils und -volumens der Kernstädte (Y)
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Y ₄	Grünflächenanteil aller Vegetationsschichten an der Kernstadtfläche [%]
Y ₆	Grünvolumen der Vegetationsschicht „mittel“ je m ² Kernstadtfläche [m ³ /m ²]
Y ₇	Grünvolumen der Vegetationsschicht „hoch“ je m ² Kernstadtfläche [m ³ /m ²]
Y ₈	Grünvolumen aller Vegetationsschichten je m ² Kernstadtfläche [m ³ /m ²]

Übersicht 10/03: Abhängige Variable – ausgewählte Kenngrößen des Grünflächenanteils und -volumens der Stadtregionen (Y)
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Y ₂₈	Grünflächenanteil aller Vegetationsschichten an der Stadtregionsfläche [%]
Y ₂₉	Grünvolumen der Vegetationsschicht „niedrig“ je m ² Stadtregionsfläche [m ³ /m ²]
Y ₃₀	Grünvolumen der Vegetationsschicht „mittel“ je m ² Stadtregionsfläche [m ³ /m ²]
Y ₃₁	Grünvolumen der Vegetationsschicht „hoch“ je m ² Stadtregionsfläche [m ³ /m ²]
Y ₃₂	Grünvolumen aller Vegetationsschichten je m ² Stadtregionsfläche [m ³ /m ²]

Den wirkungsanalytischen Untersuchungen werden als unabhängige Variable stadt- und nutzungsstrukturelle Kenngrößen der Kernstädte und deren Stadtregionen zugrunde gelegt (Übersichten 10/04 und 10/05). Aufgrund der differenzierten Datenlage finden in den regionalstatistischen Untersuchungen von Stadtregionen keine nutzungsstrukturellen Kenngrößen des Statistischen Bundesamtes Berücksichtigung.

Übersicht 10/04: Unabhängige Variable – ausgewählte strukturelle Kenngrößen der Kernstädte (X)
(Quellen: Statistisches Bundesamt 1997 und 2002; Arlt et al. 2001)

X ₁	Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₂	Gebäude- und Freiflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₃	Erholungsflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₄	Verkehrsflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₅	Landwirtschaftsflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₆	Waldflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₇	Wasserflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₈	Abbaulandflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₉	Anteil Flächen anderer Nutzung (Übungsgelände, Schutzfläche, Hist. Anlage, Friedhof, Unland, Trockengraben) [%]
X ₁₀	Gebäude- und Freiflächenausstattung der Kernstadt [m ² Gebäude- und Freifläche der Kernstadt/E]
X ₁₁	Erholungsflächenausstattung der Kernstadt [m ² Erholungsfläche der Kernstadt/E]
X ₁₂	Verkehrsflächenausstattung der Kernstadt [m ² Verkehrsfläche der Kernstadt/E]
X ₁₃	Landwirtschaftsflächenausstattung der Kernstadt [m ² Landwirtschaftsfläche der Kernstadt/E]
X ₁₄	Waldflächenausstattung der Kernstadt [m ² Waldfläche der Kernstadt/E]
X ₁₅	Wasserflächenausstattung der Kernstadt [m ² Wasserfläche der Kernstadt/E]
X ₁₆	Abbaulandflächenausstattung der Kernstadt [m ² Abbaulandfläche der Kernstadt/E]
X ₁₇	Flächenausstattung der Flächen anderer Nutzung der Kernstadt [m ² Flächen anderer Nutzung der Kernstadt/E]
X ₁₈	Freiraumausstattung der Kernstadt [m ² Freiraumfläche der Kernstadt/E]
X ₁₉	Bevölkerungsdichte der Kernstadt [E/km ²]
X ₂₀	Siedlungsdichte der Kernstadt [E/ha Siedlungs- und Verkehrsfläche der Kernstadt]
X ₂₁	Flächenproduktivität der Kernstadt [EUR/m ² Stadtfläche]
X ₂₂	Flächenproduktivität der Siedlungsfläche der Kernstadt [EUR/m ² Siedlungs- und Verkehrsfläche]
X ₂₃	ÖKO-Wert der Kernstadt
X ₂₄	Versiegelungsgrad der Kernstadt [%]
X ₂₅	Bodenpreis der Kernstadt [EUR/m ²]

Die stadtregionalen Untersuchungen berücksichtigen neben der phänomenologischen Kenngröße Versiegelungsgrad sowohl die Flächenanteile städtebaulicher Strukturtypen (Arlt et al. 2001) als auch die Flächenanteile von Bodenbedeckungsarten nach CORINE Land Cover (Daten zur Bodenbedeckung 1996) (Übersicht 10/05).

Die regionalstatistischen Methoden gelangen differenziert nach Raumebenen (Kernstadt und Stadtregionen) zur Anwendung. Die Analyse der Strukturbeziehungen des

Übersicht 10/05: Unabhängige Variable – ausgewählte strukturelle Kenngrößen der Stadtregionen (Z)

(Quellen: Arlt et al. 2001; Datenbank Statistik Regional 1997 und 2002; Heber, Lehmann 1996; Daten zur Bodenbedeckung 1996)

Z ₁	ÖKO-Wert der Stadtregion [-]
Z ₂	Stadtregionaler Siedlungsraumflächenanteil [%]
Z ₃	Versiegelungsgrad der Stadtregion [%]
Z ₄	Stadtregionaler Flächenanteil [%] des städtebaulichen Strukturtyps 1 (Fläche mit verdichtet geschlossener Bebauung)
Z ₅	Stadtregionaler Flächenanteil [%] des städtebaulichen Strukturtyps 2 (Fläche mit geschlossener Bebauung)
Z ₆	Stadtregionaler Flächenanteil [%] des städtebaulichen Strukturtyps 3 (Fläche mit offener Bebauung)
Z ₇	Stadtregionaler Flächenanteil [%] des städtebaulichen Strukturtyps 4 (Fläche mit aufgelockert offener Bebauung)
Z ₈	Stadtregionaler Flächenanteil [%] des städtebaulichen Strukturtyps 5 (unbebaute Fläche)
Z ₉	Anteil der Abbau- u. Deponienflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₀	Anteil der Ackerlandflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₁	Anteil der Weinanbauflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₂	Anteil der Obstbauflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₃	Anteil der Wiesen- u. Weidenflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₄	Anteil der Parzellenstrukturfächen der Stadtregion [%]
Z ₁₅	Anteil der landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Flächen der Stadtregion [%]
Z ₁₆	Anteil der Waldflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₇	Anteil der Grünland- u. Moorheidenflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₈	Anteil der Sumpfflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₉	Anteil der Gewässerflächen der Stadtregion [%]

Grünflächenanteils und -volumens nimmt auf die Grundgesamtheit der kreisfreien Städte Deutschlands, d. h. auf 116 Städte Bezug.

Dem regionalstatistischen Untersuchungsprogramm liegen Begriffsdefinitionen nach Hartung, Elpelt (1995); Sachs (1992); Kraft, Landes (1996); Hennersdorf (1998); Brühl, Zöfel (1999) zugrunde. Eine Zusammenfassung enthält Arlt et al. (2001, 104 ff.).

10.1 Faktoren und nutzungsstrukturelle Determinanten der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Kernstädten und Stadtregionen

Die Faktorenanalyse dient der Erkennung der Korrelationsmuster innerhalb der empirischen Untersuchungen und steht am Anfang des regionalstatistischen Untersuchungsprogramms. Die Lösung des Faktorenproblems zielt auf eine möglichst kleinen Anzahl von Faktoren, die für eine lineare Darstellung der Variablen ausreicht.

Wegen der unterschiedlichen Datenlage in Kernstädten und Stadtregionen sind zwei Faktorenanalysen durchgeführt worden:

1. Faktorenanalyse für die abhängigen Variablen **Grünfläche und -volumen in Kernstädten** mit 21 Kenngrößen der Flächennutzungsstruktur, der einwohnerspezifischen Flächenausstattung und der Flächennutzungsichte sowie mit ausgewählten phänomenologischen Kenngrößen (Flächenproduktivität, Bodenpreis, Versiegelungsgrad, ÖKO-Wert) (Übersicht 10/04).
2. Faktorenanalyse für die abhängigen Variablen **Grünfläche und -volumen in Stadtregionen** mit 16 Kenngrößen zur Beschreibung städtebaulicher Strukturtypen und der Bodenbedeckung. Weiterhin mit den phänomenologischen Kenngrößen Versiegelungsgrad und ÖKO-Wert sowie der einwohnerspezifischen Freiraumausstattung und dem Siedlungsraumanteil der Stadtregion (Übersicht 10/05).

10.1.1 Bodenversiegelung – Schlüsselfaktor der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Kernstädten und Stadtregionen

Die Ergebnisse der Faktorenanalyse werden mit Blick auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Kernstädten und deren Stadtregionen interpretiert. In einem mehrstufigen selektiven Verfahren sind für Kernstädte sieben und für Stadtregionen fünf Faktoren extrahiert worden (Übersichten 10/06 und 10/07).

Schlüsselfaktor der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Städten und Stadtregionen ist die **Bodenversiegelung**. Die Faktorenanalyse bestätigt die Komplementarität von Grünflächenanteil und Bodenversiegelung (s. a. Pauleit, Duhme 1999, 36). Hoch positiv laden der gesamtstädtische und stadtregionale Versiegelungsgrad sowie die Kenngrößen Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil, Gebäude- und Freiflächenanteil, Bevölkerungsdichte (Kernstädte) und Siedlungsraumflächenanteil (Stadtregion).

Allerdings weist der Versiegelungsgrad eine hohe multiple Korrelation mit den angeführten Kenngrößen auf und lässt das Problem der Multikollinearität erkennen. Die Problemlösung liegt, mit Blick auf die Modellierung nutzungsstruktureller Auswirkungen auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Städten, in der Wahl des Siedlungs- und Verkehrsflächenanteils als strukturelle Determinante sowohl des Versiegelungsgrades als auch des Grünflächenanteils. Hoch negativ lädt die komplementäre einwohnerspezifische Freiraumausstattung auf den Faktor „Bodenversiegelung“.

Der **Faktor „Wald“** beeinflusst den Anteil der Vegetationsschichtung „hoch“ entscheidend und nimmt grundlegenden Einfluss auf das Grünvolumen als qualitatives Merkmal der Vegetationsstruktur. Die Faktorladung der Kenngröße „Waldflächenanteil“ liegt in der Kernstadt deutlich über der der Stadtregion. Der Unterschied

Übersicht 10/06: Faktorenanalyse¹⁹ der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Kernstädten
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Faktoren	Kenngrößen und Ladung*
1 „Bodenversiegelung“	Versiegelungsgrad der Kernstadt (+) Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil der Kernstadt (+) Gebäude- und Freiflächenanteil der Kernstadt (+) einwohnerspezifische Freiraumausstattung der Kernstadt (-) Bevölkerungsdichte der Kernstadt (+)
2 „Wald“	Waldflächenanteil der Kernstadt (+) einwohnerspezifische Waldflächenausstattung der Kernstadt (+) Landwirtschaftsflächenanteil der Kernstadt (-)
3 „Wasser“	Wasserflächenanteil der Kernstadt (+) einwohnerspezifische Wasserflächenausstattung der Kernstadt (+)
4 „Rohstoffgewinnung“	Abbaufächenanteil der Kernstadt (+) einwohnerspezifische Abbaufächenausstattung der Kernstadt (+)
5 „Flächenproduktivität“	flächenspezifische Bruttowertschöpfung der Kernstadt (+) flächenspezifische Bruttowertschöpfung des Siedlungsraumes der Kernstadt (+) Bodenpreis (mittlerer Kaufpreis für baureifes Land) der Kernstadt (+)
6 „Besondere Nutzungen“	Anteil der Flächen mit anderer Nutzung in der Kernstadt (+) einwohnerspezifische Ausstattung mit Flächen anderer Nutzung in der Kernstadt (+)
7 „Erholung“	einwohnerspezifische Erholungsflächenausstattung der Kernstadt (+) Erholungsflächenanteil der Kernstadt (+)

* Es werden Kenngrößen angeführt, die auf die Faktoren hoch positiv (+) oder hoch negativ (-) laden.

Übersicht 10/07: Faktorenanalyse der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Stadtregionen
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Faktoren	Kenngrößen und Ladung
1 „Bodenversiegelung“	Versiegelungsgrad der Stadtregion (+) Siedlungsraumflächenanteil der Stadtregion (+)
2 „Extensive Landwirtschaft“	Anteil der Ackerlandflächen der Stadtregion (-)
3 „Wasser“	Anteil der Gewässerflächen der Stadtregion (+)
4 „Rohstoffgewinnung“	Anteil der Abbau- und Deponieflächen der Stadtregion (+)
5 „Wald“	Anteil der Waldflächen der Stadtregion (+)

¹⁹ Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse; Rotationsmethode; Quartimax mit Kaiser-Normalisierung.

weist auf einen stärkeren Einfluss von Waldflächen auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation in den Kernstädten hin. Die hohen negativen Ladungen der Kenngrößen „Landwirtschaftsflächenanteil“ bezüglich des Faktors „Wald“ und „Anteil der Ackerlandflächen“ bezüglich des Faktors **„Extensive Landwirtschaft“** verdeutlichen bestehende Komplementaritäten: (1) von Wald- und Landwirtschaftsflächen in Kernstädten und (2) von extensiv und intensiv genutzten Landwirtschaftsflächen in Stadtregionen. Ackerlandflächen weisen als intensiv genutzte Flächen überwiegend „niedrige“ Vegetationsschichten auf und nehmen ähnlich wie Waldflächen grundlegenden Einfluss auf das Grünvolumen von Stadtregionen. Die Proportionen zwischen Wald- und Landwirtschaftsflächen in Städten und zwischen extensiv und intensiv genutzten Landwirtschaftsflächen in Stadtregionen beeinflussen das Grünvolumen sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht entscheidend.

Sowohl in Kernstädten als auch in Stadtregionen wird der **Faktor Wasser** extrahiert. Er beeinflusst die Grünflächen- und Grünvolumensituation der Städte und Stadtregionen negativ (vgl. Abschnitt 8.2.1 Bremerhaven, Schwerin). Allerdings sind die vegetationslosen Wasserflächen unter den Bodenbedeckungsarten ökologische Leistungsträger und kompensieren die aus Vegetationsdefiziten hervorgehenden ökologischen Leistungsverluste überdurchschnittlich.²⁰ Bei der Bewertung stadtoökologischer Qualitäten ist deshalb neben Versiegelungsgrad, Grünflächenanteil und Grünvolumen der Wasserflächenanteil ein signifikantes Kriterium. Auf den Faktor „Wasser“ laden die Kenngrößen Wasserflächenanteil und einwohnerspezifische Wasserflächenausstattung der Städte sowie der Anteil der Gewässerflächen der Stadtregionen hoch positiv.

Der **Faktor „Rohstoffgewinnung“** erlangt in Städten und Stadtregionen mit außergewöhnlichen Ressourcenvorkommen und damit verbundenen überdurchschnittlich hohen Abbaufächenanteilen Bedeutung. Abbaufächen sind weitgehend vegetationslos und werden über eine hochversiegelte Verkehrsinfrastruktur erschlossen. Der Faktor „Rohstoffgewinnung“ übt einen negativen Einfluss auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation aus und wird durch die hoch positiv ladenden Kenngrößen Abbaufächenanteil, einwohnerspezifische Abbaufächenausstattung (in Kernstädten) sowie Anteil der Abbau- und Deponieflächen (in Stadtregionen) repräsentiert.

Mit der **„Flächenproduktivität“** wird in Kernstädten ein Faktor extrahiert, der aufgrund auch heute noch bestehender Bindungen an eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur mit dem Faktor „Bodenversiegelung“ korrespondiert.²¹ Der Faktor „Flä-

²⁰ Nach Heber, Lehmann (1996, 22) erzielt die Bodenbedeckungsart „natürliche Wasserfläche“ höchste Werte bei den ökologischen Leistungen: Wärmespeicherung, Staubbindevermögen, Schadstoffrückhaltung, Porosität/Durchlässigkeit, Oberflächenabfluss, Grundwasserneubildung, Regenwasserversickerung und Biotopausbildung.

²¹ Ergebnisse regressionsanalytischer Untersuchungen zur Kopplung von Flächenversiegelung und Flächenproduktivität enthält Arlt et al. 2001, 144 ff.

chenproduktivität“ wirkt indirekt – über die Bodenversiegelung und in deren Richtung – auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Städten. Er kann durch die relativ hoch positiv ladenden Kenngrößen flächenspezifische Bruttowertschöpfung der Gesamtstadt bzw. des Siedlungsraumes sowie durch den die Wertschöpfung reflektierenden gesamtstädtischen Bodenpreis beschrieben werden.

Der **Faktor „Besondere Nutzungen“** berücksichtigt ähnlich dem Faktor „Rohstoffgewinnung“ außergewöhnliche städtische Prägungen in der Flächennutzung. Die Wirkungen dieser Nutzungskategorie (Militärfläche, Schutzfläche, historische Anlage, Friedhof, Unland, Trockengraben) auf die Grünflächen- und Grünvolumensituation hängen von den Anteilen der Flächen innerhalb der Nutzungskategorie ab. Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsrichtungen erscheinen die auf den Faktor hoch positiv ladenden Kenngrößen „Anteil Flächen anderer Nutzung“ und „einwohnerspezifische Ausstattung mit Flächen anderer Nutzung“ als Modellvariable zur Bestimmung städtischer Grünflächenanteile nur bedingt geeignet.

Schließlich ist der **Faktor „Erholung“** extrahiert worden. Die städtische Erholungsfunktion wird maßgeblich von der Grünflächen- und Grünvolumenausstattung getragen. Die auf den Faktor relativ hoch ladenden Kenngrößen „einwohnerspezifische Erholungsflächenausstattung“ und „Erholungsflächenanteil“ beeinflussen die städtische Grünflächen- und Grünvolumensituation grundsätzlich positiv.

10.1.2 Strukturelle Determinanten der Grünflächen- und Grünvolumensituation in Kernstädten und Stadtregionen

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Faktorenanalyse sind mit Blick auf die Modellierung des stadtstrukturellen Zusammenhanges mit der Grünflächen- und Grünvolumensituation für Kernstädte sieben und für Stadtregionen fünf Kenngrößen als Determinanten ausgewählt worden (Übersichten 10/08 und 10/09). Auswahlkriterien bildeten die Faktorladung der extrahierten Variablen und deren planungspraktische Verfügbarkeit.

*Übersicht 10/08: Determinanten auf der Grundlage der Faktorenanalyse von Kernstädten
(Quelle: Eigene Bearbeitung)*

X ₁	Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₆	Waldflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₇	Wasserflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₈	Abbaulandflächenanteil der Kernstadt [%]
X ₉	Flächenanteil anderer Nutzung [%]
X ₁₁	Erholungsflächenausstattung der Kernstadt [m ² Erholungsfläche der Kernstadt/E]
X ₂₂	Flächenproduktivität der Siedlungsfläche der Kernstadt [EUR/m ² Siedlungs- und Verkehrsfläche]

Übersicht 10/09: Determinanten auf Grundlage der Faktorenanalyse von Stadtregionen
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Z ₂	Siedlungsraumflächenanteil der Stadtregion [%]
Z ₉	Anteil der Abbau- und Deponieflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₀	Anteil der Ackerflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₆	Anteil der Waldflächen der Stadtregion [%]
Z ₁₉	Anteil der Gewässerflächen der Stadtregion [%]

Die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Kernstädten und Stadtregionen erhält eine grundlegende Prägung durch die Anteile der Siedlungs- und Verkehrsfläche bzw. der Siedlungsraumfläche. Die Kenngrößen **„Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil“** und **„Siedlungsraumflächenanteil“** haben wegen ihrer Indikatorfunktion für das sozioökonomische und das ökologische Leistungsvermögen eine zentrale Bedeutung in der Stadtentwicklung erlangt. Ihre signifikanten Beziehungen zur Versiegelung der Böden lassen auch ausgeprägte Zusammenhänge zu den komplementären Grünflächen von Städten und Stadtregionen erwarten.

Als weitere Determinante für Kernstadt und Stadtregion ist der **„Waldflächenanteil“** identifiziert worden. Die für Waldflächen charakteristische Vegetationsschichtung „hoch“ verbindet sich nicht nur mit einem deutlichen Einfluss auf das Grünvolumen, sondern auch auf die klimatischen und lufthygienischen Leistungen von Grünflächen.

Die Determinanten **„Wasserflächenanteil“** (in Kernstädten) bzw. **„Gewässerflächenanteil“** (in Stadtregionen) bringen positive Wirkungen auf die stadtökologische Qualität zum Ausdruck. Dabei sind natürliche Wasserflächen einerseits Träger ausgewählter ökologischer Flächenleistungen und wirken insbesondere mit den bioklimatischen Ausgleichsleistungen qualitätssteigernd. Andererseits sind Wasserflächen vegetationslose Flächen und weisen deshalb Defizite, insbesondere bei den assimilativen Flächenleistungen (Kohlendioxidverbrauch, Sauerstoffabgabe) auf. Wasserflächen besitzen spezifische ökologische Leistungsprofile.

Der **„Abbauf Flächenanteil“** bzw. der **„Anteil der Abbau- und Deponieflächen“** sind Determinanten der Raumebenen Kernstadt und Stadtregion, denen grundsätzlich negative Wirkungen auf die ökologische Lebensraumqualität unterstellt werden müssen. Abbau- und Deponieflächen sind weitgehend vegetationslos und im laufenden Betrieb u. a. mit erheblichen Staub- und Lärmemissionen verbunden. Andererseits können stillgelegte Abbau- und Deponieflächen Sukzessionsprozesse durchlaufen oder zu Wasser- bzw. Grünflächen mit beachtlichen ökologischen Leistungspotenzialen entwickelt werden und somit eine qualitätssteigernde Wirkung entfalten. Die Verwendung der Determinanten in wirkungsanalytischen Untersuchungen ist deshalb an die aktuelle Nutzungssituation von Abbau- und Deponieflächen geknüpft.

Die bisher dargestellten Determinanten schließen die Raumebenen Kernstadt und Stadtregion ein. Darüber hinaus sind kernstadtspezifische und stadtreionspezifische

Determinanten identifiziert worden. Als kernstadtspezifische Determinanten erweisen sich die Kenngrößen **„einwohnerspezifische Erholungsflächenausstattung“**, **„Flächenanteile anderer Nutzung“** und **„Flächenproduktivität der Siedlungsfläche“**. Erholungsflächen können weitgehend den vegetationsbestandenen Flächen zugeordnet werden. Sie beeinflussen Grünflächen- und Grünvolumensituation generell positiv. Flächen anderer Nutzung sind in ihrer Wirkung auf städtische Grünflächenanteile indifferent. Flächen mit hoher Wertschöpfung sind aufgrund der Koppelung von Flächenproduktivität und Flächenversiegelung stärker versiegelt und müssen eher negativ in ihrer Wirkung auf die städtische Grünflächen- und Grünvolumensituation gesehen werden.

Als stadtreionspezifische Determinante charakterisiert der **„Anteil Ackerlandflächen“** landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen des kernstädtischen Umlandes mit der Vegetationsschichtung „niedrig“.

10.2 Kenngrößenanalytische Modelle des Grünflächenanteils und spezifischen Grünvolumens

Unter Beachtung der faktorenanalytischen Ergebnisse werden im Rahmen multipler Regressionsanalysen kenngrößenanalytische Modelle entwickelt. Sie zielen auf Algorithmen zur Ermittlung gesamtstädtischer Grünflächenanteile und gesamtstädtischer Grünvolumen mithilfe ausgewählter Kenngrößen, die auf Faktoren mit hoher Zielgrößen-Signifikanz hoch laden und als strukturelle Determinanten identifiziert worden sind (Abschnitt 10.1.2). Um Verzerrungen der Schätzung der Regressionskoeffizienten durch Interkorrelation zu vermeiden, werden untereinander hoch korrelierende unabhängige Variable einem Ausschlussverfahren unterzogen.

Kenngrößenanalytische Modelle basieren auf Struktur-Wirkungs-Beziehungen. Strukturen sind Potenzialfaktoren, die in der Kausalitätslogik zwischen Ursache und Wirkung stehen (Cerwenka 1999, 210). Die Grünflächen- und Grünvolumensituation von Städten und Stadtregionen ist Ausdruck komplexer sachlogischer Zusammenhänge, deren Kausalität durch die verursachenden Wirkfaktoren Lebens-, Arbeits- und Wirtschaftsweise des Menschen und u. a. durch die Ursache-Wirkungs-Richtung Wohlstands- und Wirtschaftswachstum begründet sind. Die nachfolgend beschriebenen Grünflächen- und Grünvolumenmodelle sind keine deterministischen, auf die Ursachen-Wirkungs-Beziehungen Bezug nehmenden Modelle. Es sind stochastische Modelle, die einen wahrscheinlichkeitstheoretischen Zusammenhang zwischen Lebens-, Arbeits- und Wirtschaftsweise und städtischen Strukturen unterstellen und davon ausgehend die Struktur-Wirkungs-Beziehungen beschreiben.

Die multiple Regressionsanalyse bedient sich der Verfahren „Einschluss“ und „schrittweise“. Die Regressionsanalyse im Einschlussverfahren dient der Selektion von Kenngrößen mit geringen Beiträgen zur Aufklärung von Zielgrößenvarianzen.

Selektionskriterien bilden der standardisierte Regressionskoeffizient $Beta^{22}$ und die Testgröße T^{23} . In der sich anschließenden multiplen schrittweisen Regressionsanalyse werden Modellvarianten entwickelt und auf der Grundlage des korrigierten Bestimmtheitsmaßes B^{24} bewertet. Die Vorzugsvariante wird unter planungspraktischen Aspekten, insbesondere unter dem Aspekt der Verfügbarkeit der Kenngrößen, ausgewählt.

Obwohl eine weitgehende Übereinstimmung in den Einflussfaktoren analysiert wurde, erfordern die Datenlage bei den Kenngrößen und nutzungsstrukturelle Unterschiede eine nach den Raumebenen Kernstadt und Stadtregion differenzierte Modellentwicklung für Grünflächen und -volumen.

10.2.1 Modelle „Grünflächenanteil“

Die mittleren Grünflächenanteile in den untersuchten 116 Kernstädten und deren Stadtregionen liegen bei 78 % bzw. 84 % (Tab. 8/01, Abschnitt 8). Der grundlegende nutzungsstrukturelle Einfluss auf die Grünflächensituation von Kernstädten und Stadtregionen geht vom Anteil der Siedlungs-, Verkehrs- und Wasserflächen aus (Abb. 10/01).

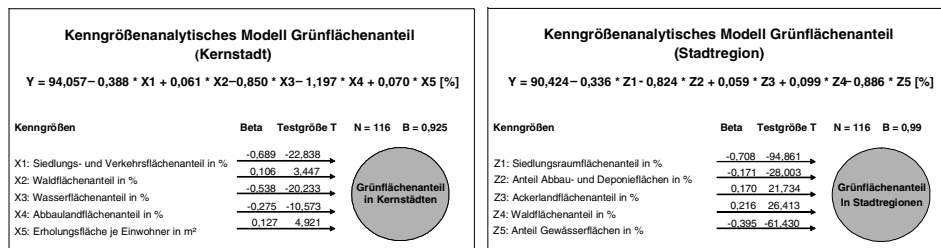


Abb. 10/01: Kenngrößenanalytische Modelle „Grünflächenanteil“ für Kernstädte und Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

²² Die Regressionskoeffizienten Beta sind für den jeweiligen Wertebereich standardisiert. Sie zeigen die Bedeutung der Kenngröße bezüglich der abhängigen Variablen an.

²³ Testgröße T zur Prüfung der Nullhypothese von Regressionskoeffizienten. Ist der Betrag von T größer als der Wert der Student-t-Verteilung, kann von einem Einfluss der Kenngrößen auf die abhängige Variable ausgegangen werden. Der Wert T ist von den Freiheitsgraden $FG = n - j - 1$ und dem Signifikanzniveau abhängig, mit n = Anzahl der Stichproben, j = Anzahl der einbezogenen unabhängigen Variablen. Die Regressionsanalyse wird mit einem Signifikanzniveau von 0,05 geführt. Der betragsmäßige Wert der Student-t-Verteilung in der durchgeführten regionalstatistischen Untersuchung liegt bei etwa 2.

²⁴ Das Bestimmtheitsmaß B wird in seiner Größe durch die Anzahl der erklärenden Variablen und den Stichprobenumfang beeinflusst. Bei gegebenem Stichprobenumfang leistet jede hinzu kommende Variable einen mehr oder weniger großen Erklärungsbeitrag, sodass die Größe des Bestimmtheitsmaßes zunimmt. Ebenso gilt, dass mit kleiner werdendem Stichprobenumfang das Bestimmtheitsmaß steigt.

Die Modelle „**Grünflächenanteil**“ in Kernstädten und Stadtregionen sind durch den dominanten Einfluss der Kenngrößen „Siedlungs- und Verkehrsfläche“ (X1, Beta = -0,689) und „Siedlungsraumfläche“ (Z1, Beta = -0,708) charakterisiert. Beide Kenngrößen sind Schlüsselgrößen der Stadt- und stadtreionalen Entwicklung, die sowohl mit dem Versiegelungsgrad als auch mit den komplementären Freiräumflächen korrespondieren. Sie weisen ebenso wie der „Abbaulandflächenanteil“ (X4), der „Anteil an Abbau- und Deponiefläche“ (Z2), der „Wasserflächenanteil“ (X3) und der „Anteil an Gewässerfläche“ (Z5) negative Wirkungsrichtungen bezüglich städtischer und stadtreionaler Grünflächenanteile auf. Das Modell reflektiert damit sowohl die auf die starke Versiegelung zurückzuführenden relativ hohen Grünflächendefizite von Siedlungs- und Verkehrsflächen als auch die Vegetationslosigkeit von Wasser- und Abbauf Flächen.

Der Waldflächenanteil wirkt erwartungsgemäß positiv auf die städtischen und stadtreionalen Grünflächenanteile, aber mit niedriger Aufklärungssignifikanz. Als spezifische Einflussgrößen sind die einwohnerspezifische Erholungsflächenausstattung (X5 der Kernstadt) und der Anteil an Ackerlandfläche (Z3 der Stadtregion) – beide mit geringer Wirkung auf die Grünflächenanteile – identifiziert worden.

10.2.2 Modelle „Spezifisches Grünvolumen“

Das spezifische Grünvolumen wird als Mittelwert des auf die Kernstadt- bzw. Stadtregionsfläche bezogenen Grünvolumens aller Vegetationsschichten definiert. Im Durchschnitt aller untersuchten 116 Kernstädte und deren Stadtregionen liegt das spezifische Grünvolumen bei 2,52 m³/m² bzw. 2,61 m³/m² (Tab. 8/01, Punkt 8). Eine grundlegende Prägung erfährt das spezifische Grünvolumen von Städten und Stadtregionen durch deren Waldflächenanteile (Beta 1,074 bzw. 0,982) (Abb. 10/02).

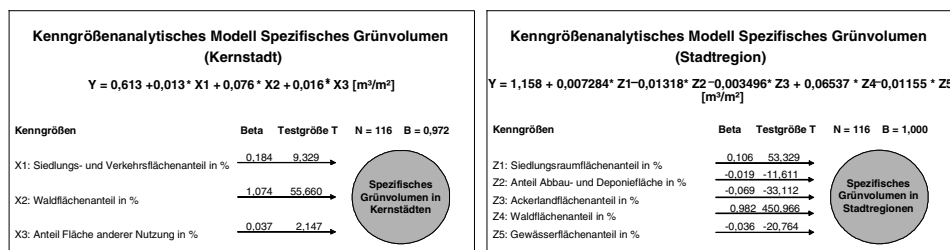


Abb. 10/02: Kenngrößenanalytische Modelle „Spezifisches Grünvolumen“ für Kernstädte und Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“ (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Die Modelle bilden damit die signifikante Beziehung zwischen der Vegetationsschichtung als Element der Vegetationsstruktur und dem Vegetationsvolumen ab. Waldflächen weisen zu hohen Anteilen die Vegetationsschichtung „hoch“ auf und be-

stimmen die Größenordnungen des spezifischen Grünvolumens grundlegend. Weitere Kenngrößen leisten zur Aufklärung der Varianzen des Grünvolumens nur noch geringe Beiträge. Der Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil bzw. der Siedlungsraumanteil (Beta 0,184 bzw. 0,106) beeinflussen das Grünvolumen positiv. Die positive Wirkungsrichtung deutet ebenfalls auf den vegetationsstrukturellen Einfluss der Vegetationsschicht „hoch“ hin, der vorwiegend von Straßenbäumen und Parkanlagen des Siedlungsraumes ausgeht. Die mit steigenden Anteilen von Abbau-, Deponie-, Gewässer- sowie Ackerflächen verbundene Abnahme des spezifischen Grünvolumens in Stadtregionen ist aufgrund der Vegetationslosigkeit dieser Flächen oder deren niedriger Vegetation plausibel.

10.2.3 Modelle „Spezifisches Grünvolumen“ differenziert nach Vegetationsschichten

Art und Maß lufthygienischer, klimatischer und weiterer ökologischer Leistungen städtischer und stadtreionaler Grünflächen unterliegen u. a. dem Einfluss der Vegetationsschichtung. Es kann deshalb in den entwicklungsstrategischen Orientierungen der Städte und Stadtregionen durchaus eine leistungsspezifische Sicherung bzw. Entwicklung der Anteile ausgewählter Vegetationsschichten sinnvoll sein. Die Modelle „Spezifisches Grünvolumen“ – differenziert nach den Vegetationsschichten „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ – beschreiben die nutzungsstrukturellen Handlungsfelder in der Umsetzung von Entwicklungsstrategien.

Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „niedrig“

Ein Modell zur Berechnung des spezifischen Grünvolumens der Vegetationsschicht „niedrig“ konnte nur für die Stadtregion entwickelt werden. In Kernstädten gelang der Nachweis signifikanter nutzungsstruktureller Beziehungen zum Grünvolumen der Vegetationsschicht „niedrig“ nicht.

Das spezifische Grünvolumen mit der Vegetationsschicht „niedrig“ erweist sich als abhängige Größe von Ackerland und Waldfläche, deren Wirkung auf die Zielgröße unterschiedlich ist (Abb. 10/03). Waldflächenanteil und Ackerlandanteil sind komplementäre nutzungsstrukturelle Kenngrößen mit vegetationsstruktureller Prägung

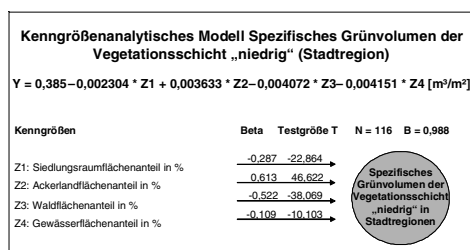


Abb. 10/03:
Kenngrößenanalytisches Modell „Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht niedrig“ für Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

in Form der Vegetationsschichten „hoch“ bzw. „niedrig“. Städte mit einem hohen Waldflächenanteil haben – in der Regel – einen geringen Ackerlandflächenanteil. Charakteristisch für diese Städte ist ein tiefes Niveau des spezifischen Grünvolumens der Vegetationsschicht „niedrig“.

Ebenfalls volumenreduzierend wirken die Kenngrößen Siedlungsraumflächen- und Gewässerflächenanteil. Die negative Wirkungsrichtung des Siedlungsflächenanteils weist auf die starke Verbreitung der Vegetationsschichten „mittel“ (Hecken, Gebüsche, kleinere Bäume) und „hoch“ (mittelgroße und große Bäume) auf den Grünflächen der Siedlungsräume hin.

Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschichten „mittel“ und „hoch“

Die Varianz der spezifischen Grünvolumen der Vegetationsschichten „mittel“ und „hoch“ wird in Kernstädten in hohem Maße (Beta 0,703 bzw. 0,798) und in Stadtregionen nahezu vollständig (Beta 0,998 bzw. 0,964) durch den Waldflächenanteil bestimmt (Abb. 10/04).

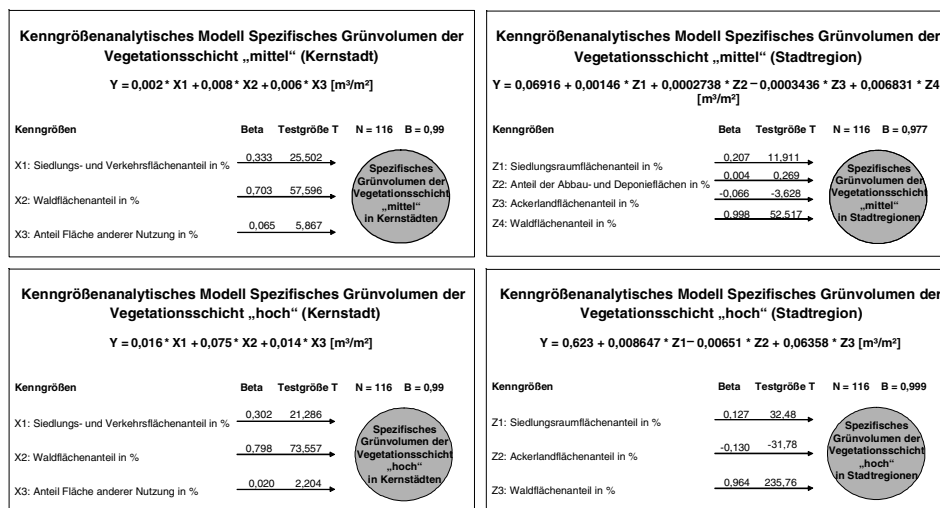


Abb. 10/04: Kenngrößenanalytische Modelle „Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschichten „mittel“ bzw. „hoch“ für Kernstädte und Stadtregionen – multiple Regressionsanalyse im Verfahren „schrittweise“ (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Mit weitaus geringerer Signifikanz und mit positiver Wirkung auf die nach Vegetationsschichten „mittel“ und „hoch“ differenzierten Grünvolumen weisen die Modelle den Siedlungs- und Verkehrsflächen- bzw. Siedlungsraumflächenanteil aus. Mit dieser Wirkungsbeziehung findet die Dominanz der Vegetationsschichten „mittel“ und „hoch“ in Siedlungsräumen eine Bestätigung. Eine spezifische Wirkungsbeziehung

hung des Grünvolumens der mittleren und hohen Vegetation besteht in Stadtregionen zum Ackerlandflächenanteil. Die negative Wirkungsrichtung ist in der für Ackerland charakteristischen Vegetationsschicht „niedrig“ begründet.

10.2.4 Analyse der Modellfehler

Die Fehleranalyse der Modelle ermittelt die Differenzen zwischen Beobachtungswerten und Schätzwerten der Grünflächenanteile und Grünvolumen von Kernstädten und Stadtregionen:

$$F = y - Y$$

mit

- F Residualgröße (Differenz zwischen Beobachtungswert und Schätzwert)
- y Beobachtungswert der abhängigen Variablen (ermittelte Grünflächenanteile und spezifische Grünvolumen für 116 kreisfreie Städte (N) und deren Stadtregionen basierend auf dem Struktur- und Biototypenansatz)
- Y Schätzwert der abhängigen Variablen (berechneter Schätzwert auf der Grundlage der Regressionsfunktion).

Tab. 10/01: Analyse der Modellfehler – Statistik für die Fehlerfunktionen (Residualgrößen)
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Modell	N	Residualgrößen			
		Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Grünflächenanteil in Kernstädten	116	0 %	8 %	1,50 %	1,48 %
Grünflächenanteil in Stadtregionen	116	0 %	1 %	0,33 %	0,26 %
Spezifisches Grünvolumen in Kernstädten	116	0 m³/m²	0,70 m³/m²	0,130 m³/m²	0,120 m³/m²
Spezifisches Grünvolumen in Stadtregionen	116	0 m³/m²	0,06 m³/m²	0,012 m³/m²	0,011 m³/m²
Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „niedrig“ in Stadtregionen	116	0 m³/m²	0,05 m³/m²	0,008 m³/m²	0,009 m³/m²
Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „mittel“ in Kernstädten	116	0 m³/m²	0,10 m³/m²	0,018 m³/m²	0,017 m³/m²
Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „mittel“ in Stadtregionen	116	0 m³/m²	0,06 m³/m²	0,009 m³/m²	0,010 m³/m²
Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „hoch“ in Kernstädten	116	0 m³/m²	0,64 m³/m²	0,153 m³/m²	0,127 m³/m²
Spezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „hoch“ in Stadtregionen	116	0 m³/m²	0,15 m³/m²	0,018 m³/m²	0,026 m³/m²

Die Bewertung erfolgt auf der Grundlage der Statistik für die Fehlerfunktionen der Modelle anhand von minimalen und maximalen Differenzen sowie den Mittelwerten und Standardabweichungen der Differenzen. Letztere sind ein Maß für die Streuung um den Mittelwert (Tab. 10/01).

Die Residualgrößen bestätigen die an den Bestimmtheitsmaßen erkennbaren geringen Regressionsvarianzen und damit eine hohe Anpassungsgüte der Modelle. Die Modelle nehmen mit ihren Regressionsaussagen auf gesamtstädtische bzw. stadtreregionale Grünflächen- und Grünvolumensituationen Bezug und bilden die Grundlage für mittelmaßstäbige Analyse- und Prognoseinstrumente.

Eine vergleichende Betrachtung lässt die höhere Treffsicherheit der Modelle für Stadtregionen gegenüber den Kernstadtmodellen erkennen. Insbesondere die maximalen Residualgrößen, aber auch die Mittelwerte und deren Standardabweichungen liegen sowohl bei den Grünflächenanteilen als auch bei den spezifischen Grünvolumen in Stadtregionen niedriger.

10.3 Städte-Cluster

Im Rahmen von stadtypologischen Untersuchungen der kreisfreien Städte erweist sich eine weitere Durchdringung der strukturellen Beziehungen städtischer Phänomene mithilfe der Clusteranalyse als sinnvoll. Städte-Cluster ermöglichen die Strukturierung komplexer Zusammenhänge und die inhaltliche Ausformung komplexer Begriffe wie etwa „nachhaltige Stadtentwicklung“. Die Clusteranalyse teilt als multivariates Verfahren die Grundgesamtheit der kreisfreien Städte nach mehreren Merkmalsvariablen in Typen (Cluster) so auf, dass die Ähnlichkeit der Städte eines Typs und zugleich der Unterschied der Städte zwischen zwei beliebigen Typen möglichst groß ausfallen. Das bedeutet, dass die Städte jedes Clusters eine weitgehend verwandte Eigenschaftsstruktur bezüglich der in der Clusteranalyse berücksichtigten Merkmalsvariablen haben und somit als weitgehend homogen gelten können. Die Clusterbildung erfolgt unter gleichzeitiger Berücksichtigung mehrerer Merkmale.

Die clusteranalytischen Untersuchungen zielen zunächst auf die Aufteilung der 116 kreisfreien Städte Deutschlands in 5 Cluster²⁵, danach auf die Analyse der Eigenschaftsstruktur der Cluster, die Identifizierung der Clusterrepräsentanten und auf die Ableitung von entwicklungsstrategischen Orientierungswerten für die Städte. Dabei bezieht sich die Homogenität der Cluster auf die stadtökologische Qualität. D. h., die

²⁵ Die Zahl der Cluster wird an den clusteranalytischen Untersuchungen zur Bodenversiegelung und zum Bodenpreis orientiert (vgl. Arlt et al. 2001). In diesen Untersuchungen sind 5 planungsrelevante Cluster unter Beachtung der Kriterien Homogenität und Abgrenzung der Eigenschaftsstrukturen identifiziert worden. Wegen der Komplementarität versiegelter und Grünflächen sowie einheitlicher methodischer Grundlagen erscheint die Festlegung von 5 Städte-Clustern zur Beschreibung der stadtökologischen Qualität der 116 kreisfreien Städte Deutschlands sinnvoll.

Städte jedes Clusters sollen aufgrund weitgehend übereinstimmender struktureller Merkmale und daraus hervorgehender weitgehend ähnlicher ökologischer und sozialer Funktionen bzw. Leistungen eine weitgehend übereinstimmende stadtoökologische Qualität aufweisen. Die stadtoökologische Qualität ist Ausdruck eines komplexen Wirkungsgefüges und unterliegt zahlreichen strukturellen Einflüssen. Die clusteranalytischen Untersuchungen berücksichtigen mit Grünflächenanteil, Grünvolumen, Versiegelungsgrad und Wasserflächenanteil nutzungsstrukturelle Kenngrößen, die auf ausgewählte Elemente des Objektraumes Stadt (Abschnitt 3) Bezug nehmen. Neben diesen statistischen Kenngrößen der Flächennutzungsstruktur hängen Funktionserfüllung bzw. Leistung in starkem Maße vom räumlichen Ordnungsgefüge städtischer Flächen ab, zu dessen Messung bisher die funktionsräumlichen Kenngrößen Kompaktheits- und Vernetzungsgrad zur Verfügung stehen (Arlt et al. 2001, 77).

Im Rahmen der vegetationsstrukturellen Analyse vorliegender Forschung sind weitere funktionsräumliche Kenngrößen entwickelt worden, die auf städtische Grünflächen und deren Verteilung Bezug nehmen. Das räumliche Ordnungsgefüge wird in diesem Zusammenhang als abstraktes Grünmuster dargestellt und mit den Kenngrößen „Isolationsmaß“, „Lakunaritätsmaß“, „Verbundmaß“ (vgl. Abschnitt 4) als Formmaße gemessen. Stadtypologische Untersuchungen zur Identifizierung von Stadtypen mit charakteristischen Grünmustern und deren Ergebnisse werden im Abschnitt 9 dargestellt.

Im Ergebnis der Analyse der kreisfreien Städte werden Cluster erwartet, deren Städte charakteristische Qualitätsniveaus und Eigenschaftsstrukturen aufweisen und somit auch die Möglichkeit der Identifizierung, Beschreibung und Bewertung von Flächennutzungsstrukturen unter dem Qualitätsaspekt gegeben ist.

10.3.1 Diskriminanz- und Clusteranalyse

Für stadtypologische Untersuchungen der kreisfreien Städte erweist sich die mathematische Durchdringung von strukturellen Eigenschaften mithilfe der Diskriminanz- und Clusteranalyse als nützlich. Charakteristisches Merkmal der Clusteranalyse ist die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Variablen bei der Clusterbildung. Die Bewertung der Typisierung und der Beiträge der Merkmalsvariablen zur Clustertrennung ermöglicht die Diskriminanzanalyse.

Diskriminanz- und Clusteranalysen werden mit dem Statistik-Programm SPSS (Version 10.0) durchgeführt. Das Programm SPSS bietet verschiedene Verfahren zur Clusteranalyse an, die sich durch die Definition der Ähnlichkeiten der zu klassifizierenden Objekte und der Cluster sowie durch die Clusterbildungsstrategie voneinander unterscheiden. Den Ablauf eines Clusterverfahrens kann man in zwei grundlegende Schritte unterteilen:

– Wahl des Ähnlichkeitsmaßes

Für jeweils zwei Objekte (in diesem Fall Städte) werden die Ausprägungen der betrachteten Merkmale überprüft und es wird versucht, durch einen Zahlenwert die Ähnlichkeit bzw. den Unterschied oder die Distanz zwischen den Objekten zu messen.

– Wahl des Fusionierungsalgorithmus

Auf der Basis der Ähnlichkeitswerte werden die Objekte (Städte) so zu Gruppen zusammengefasst, dass sich die Objekte mit weitgehend übereinstimmenden Eigenschaftsstrukturen in einer Gruppe wieder finden.

Folgende Clusterverfahren sind im Programm SPSS verfügbar:

(1) Nicht-hierarchische Verfahren

- Clusterzentrenmethode (k-means-Methode)

(2) Hierarchische Verfahren

- Linkage zwischen den Gruppen (Average Linkage between Groups),
- Linkage innerhalb der Gruppen (Average Linkage within Group),
- Nächstgelegener Nachbar (Single-linkage-Verfahren),
- Entferntester Nachbar (Complete-linkage-Verfahren),
- Zentroid-Clustering,
- Median-Clustering und
- Ward-Verfahren.

Die Clusterzentrenmethode ist ein bewährtes nicht-hierarchisches Verfahren. In diesem Verfahren werden die Cluster durch ihre Schwerpunkte (Mittelpunkte) repräsentiert. Anders als bei hierarchischen Verfahren ist in dieser Methode eine einmal vorgenommene Zuordnung eines Objekts zu einem Cluster nicht endgültig; sie kann theoretisch beliebig häufig revidiert werden. Die Clusterzentrenmethode bietet bei großer Grundgesamtheit Vorteile (Anzahl der zu klassifizierenden Objekte größer als 200). Sie wird häufig zur Verbesserung einer Gruppierung eingesetzt, die mit einem hierarchischen Verfahren gefunden wurde.

Die aufgezählten hierarchischen Verfahren sind agglomerative Verfahren. Sie gehen von der feinsten Partition (jedes Objekt der Grundgesamtheit ist ein Cluster) aus und versuchen, diese Cluster der feinsten Partition zusammenzufassen. Unter den 7 hier verfügbaren hierarchischen Verfahren hat sich das Ward-Verfahren in der praktischen Anwendung bewährt. Dieses Verfahren vermag sehr gute Partitionen zu finden und gleichzeitig in der Regel die optimale Clusterzahl zu signalisieren. Dieser Fakt wurde auch durch die durchgeführten Test- und Vergleichsberechnungen belegt. Aus diesen Gründen werden die 116 betrachteten kreisfreien Städte mit dem Ward-Ver-

fahren klassifiziert. Aufgrund mathematischer Erfahrungen wurden folgende Vorüberlegungen bei der Aufbereitung der Ausgangsdaten angestellt:

- Statistische Beziehungen zwischen betrachteten Merkmalen,
- Dominanz von Merkmalsvariablen bei der Clusterung,
- Gewichtung und Vergleichbarkeit der Merkmale.

Es wird von der These ausgegangen, dass das stadtökologische Qualitätsniveau sowohl von den statistischen als auch von den funktionsräumlichen Kenngrößen abhängig ist (vgl. Abb. 10/05).

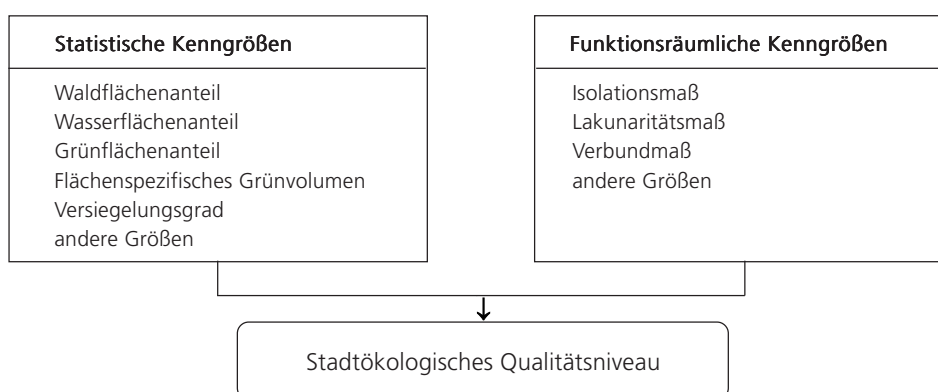


Abb. 10/05: Abhängigkeit zwischen dem stadtökologischen Qualitätsniveau und statistischen sowie funktionsräumlichen Kenngrößen
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Übersicht 10/10: Wesentliche Kenngrößen für das stadtökologische Qualitätsniveau
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Nr.	Kenngrößen
1	Versiegelungsgrad – Kernstadt [%]
2	Waldflächenanteil – Kernstadt [%]
3	Wasserflächenanteil – Kernstadt nach CORINE (ergänzt durch Wasserflächen >1 ha) [%]
4	Grünflächenanteil – Kernstadt insgesamt [%]
5	Flächenspezifisches Grünvolumen – Kernstadt insgesamt [m ³ /m ²]
6	Versiegelungsgrad – Stadtregion [%]
7	Anteil der Waldflächen – Stadtregion nach CORINE [%]
8	Wasserflächenanteil – Stadtregion nach CORINE (ergänzt durch Wasserflächen >1 ha) [%]
9	Grünflächenanteil – Stadtregion insgesamt [%]
10	Flächenspezifisches Grünvolumen – Stadtregion insgesamt [m ³ /m ²]
11	Versiegelungsgrad – Umlandgemeinden [%]
12	Wasserflächenanteil – Umlandgemeinden nach CORINE (ergänzt durch Wasserflächen >1 ha) [%]
13	Flächenspezifisches Grünvolumen – Umlandgemeinden [m ³ /m ²]
14	Isolationsmaß – Kernstadt [-]
15	Lakunaritätsmaß – Kernstadt [%]
16	Verbundmaß – Kernstadt [%]

Die Clusteranalyse berücksichtigt 16 nutzungsstrukturelle Kenngrößen mit Einfluss auf das stadtökologische Qualitätsniveau (Übersicht 10/10). Zuvor wurden in einer Korrelationsanalyse die statistischen Beziehungen zwischen den 16 Kenngrößen geprüft und davon ausgehend Festlegungen zum Ablauf der Clusteranalyse getroffen (vgl. Abb. 10/06 und 10/07). Hoch miteinander korrelierende Kenngrößen (Korrelationskoeffizient $>0,7$) sind einem Ausschlussverfahren unterzogen worden, in dem mit inhaltlich-methodischen Kriterien die Clustervariablen ausgewählt wurden (Abb. 10/06). Der Ausschluss korrelierter Kenngrößen aus der Ausgangsdatenmatrix schließt die Betonung von Merkmalsgruppen aus und stellt das Gleichgewicht der Daten sicher. Nach dem Ausschlussverfahren verbleiben folgende Kenngrößen in der Clusteranalyse:

- Versiegelungsgrad der Kernstadt [%],
- Wasserflächenanteil der Kernstadt nach CORINE [%] (ergänzt durch Wasserflächen >1 ha),
- Flächenspezifisches Grünvolumen der Kernstadt insgesamt [m^3/m^2],
- Versiegelungsgrad der Umlandgemeinden [%],
- Wasserflächenanteil der Umlandgemeinden nach CORINE [%] (ergänzt durch Wasserflächen >1 ha),
- Flächenspezifisches Grünvolumen der Umlandgemeinden [m^3/m^2],
- Isolationsmaß der Kernstadt [-] und
- Verbundmaß der Kernstadt [%].

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																
2																
3																
4	-0,78															
5		0,97														
6	0,74															
7		0,89			0,88											
8			0,77													
9				0,75		-0,85										
10		0,88			0,90		0,99									
11						0,94			-0,79							
12							0,93									
13		0,81			0,82		0,97			0,98						
14																
15	-0,91			0,96					0,77							
16																

1 Versiegelungsgrad der Kernstadt [%]

2 Waldflächenanteil der Kernstadt [%]

3 Wasserflächenanteil der Kernstadt nach CORINE [%]

4 Grünflächenanteil der Kernstadt [%]

5 Flächenspezifisches Grünvolumen in der Kernstadt [m^3/m^2]

6 Versiegelungsgrad der Stadtregion [%]

7 Anteil der Waldflächen der Stadtregion nach CORINE [%]

8 Anteil der Gewässerflächen der Stadtregion nach CORINE [%]

9 Grünflächenanteil der Stadtregion [%]

10 Flächenspezifisches Grünvolumen in der Stadtregion [m^3/m^2]

11 Versiegelungsgrad der Umlandgemeinden [%]

12 Wasserflächenanteil der Umlandgemeinden nach CORINE [%]

13 Flächenspezifisches Grünvolumen in den Umlandgemeinden [m^3/m^2]

14 Isolationsmaß der Kernstadt [-]

15 Lakunaritätsmaß der Kernstadt [%]

16 Verbundmaß der Kernstadt [%]

Abb. 10/06: Korrelationsmatrix der nutzungsstrukturellen Kenngrößen mit Angaben zu den ausgeschlossenen Kenngrößen (fett gedruckt)
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

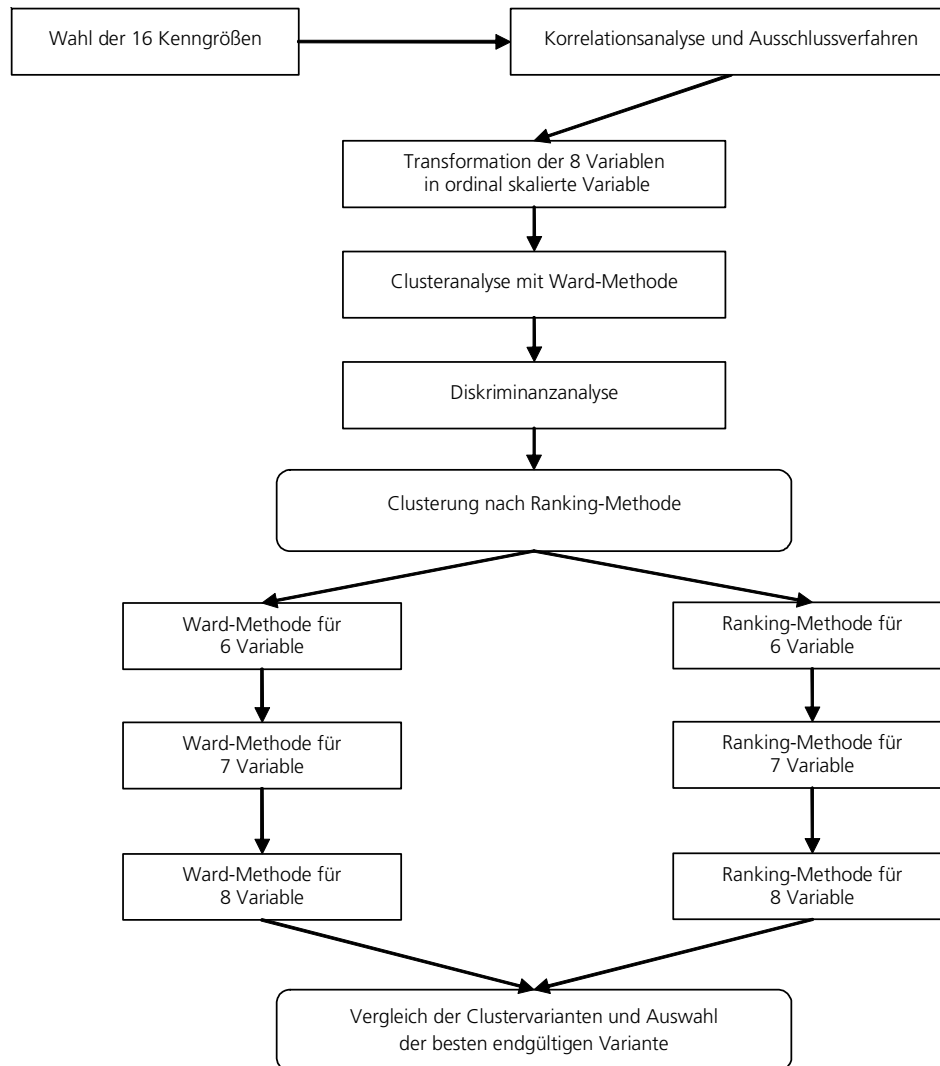


Abb. 10/07: Methodisches Vorgehen zur Clusterbildung
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Clustervariablen „flächenspezifisches Grünvolumen“ der Kernstadt und der Umlandgemeinden trotz einer statistischen Beziehung zueinander (Korrelationskoeffizient = 0,82, Abb. 10/06) Berücksichtigung fanden. Somit wurden in die Clusteranalyse jeweils drei statistische Kenngrößen der Kernstadt und Umlandgemeinden sowie zwei räumliche Kenngrößen der Kernstadt einbezogen.

Da die Skalenniveaus dieser acht Merkmalsvariablen große Unterschiede aufweisen und diejenigen Variablen mit einem großen Wertespektrum die Clusterbildung mit-

tels SPSS-Methoden dominieren, wurden die Clustervariablen ordinal skaliert (Abb. 10/07). Die Skalierung legt die Einteilung des Wertespektrums jeder Variablen in 5 äquidistante Intervalle zugrunde und nimmt die Variablenzuordnung nach Intervallen mit steigendem stadtökologischen Qualitätsniveau vor. Ohne die Transformation der Clustervariablen auf ordinale Skalen würde die Ward-Methode starken Gewichtungen folgen und den Grad der Homogenität der Cluster von vornherein erheblich einschränken. Die Transformation hat sich als nützlich erwiesen, um plausible und leicht interpretierbare Cluster zu bilden.

Die Ward-Methode gelangte für die acht ausgewählten und transformierten Clustervariablen zur Anwendung. Danach erfolgte eine Untersuchung der Trennungsgüte durch Diskriminanzanalyse (Abb. 10/07). Die Diskriminanzanalyse belegt, dass die Variablen „Wasserflächenanteil“ der Kernstadt und Umlandgemeinden wenig zur Trennung der Cluster beitragen. Trotzdem fanden beide Wasserflächenanteile in den stadtypologischen Untersuchungen Berücksichtigung, weil Wasserflächen ein Leistungsfaktor der stadtökologischen Qualität sind. Vor diesem Hintergrund wurden die Ranking-Methode und eine Heuristik herangezogen, um zu sichern, dass die Wasserflächenanteile als Clustervariable bei der Typisierung zum Tragen kommen.

Sowohl die Ward- als auch die Ranking-Methode wurden für drei Fälle mit 8, 6 und 7 Variablen angewendet (Abb. 10/07). Eine vergleichende Bewertung präferiert die Clustervariante „Ranking-Methode für 7 Variable“ als Vorzugsvariante. In dieser Variante fanden die Kenngrößen Versiegelungsgrad, flächenspezifisches Grünvolumen und Wasserflächenanteil jeweils für Kernstadt und Umlandgemeinden sowie als funktionsräumliche Kenngröße das Verbundmaß der Kernstadt Berücksichtigung.

10.3.2 Häufigkeitsverteilung kreisfreier Städte nach Clustern

In der Vorzugsvariante werden fünf Städte-Cluster identifiziert, nach denen die kreisfreien Städte weitgehend normal verteilt sind (Abb. 10/08).

Die Häufigkeitsverteilung lässt eine grundsätzliche Interpretation zu: vom Städte-Cluster I zum Städte-Cluster V nimmt die ökologische Qualität als Ausdruck städtischer Versiegelungs-, Grünvolumen- und Gewässerbedingungen in Kernstädten und deren Umlandgemeinden sowie des Grünflächenverbundes der Kernstädte zu.

Auf einer ordinalen Skala lassen sich 32 % der Städte (Cluster I und II) einer sehr niedrigen bis niedrigen und 28 % der Städte (Cluster IV und V) einer hohen und sehr hohen stadtökologischen Qualität zuordnen. Eine mittlere ökologische Qualität weisen 40 % der kreisfreien Städte auf. Die Häufung von Ruhrgebietsstädten im Cluster I (Bochum, Duisburg, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Oberhausen) geht einerseits auf vergleichsweise hohe Versiegelungsgrade, geringe Waldflächenanteile und Verbundmaße in den Kernstädten zurück und wird andererseits durch verstärkte Umlandgemeinden verursacht. In der Städte-Agglomeration Ruhrgebiet sind die

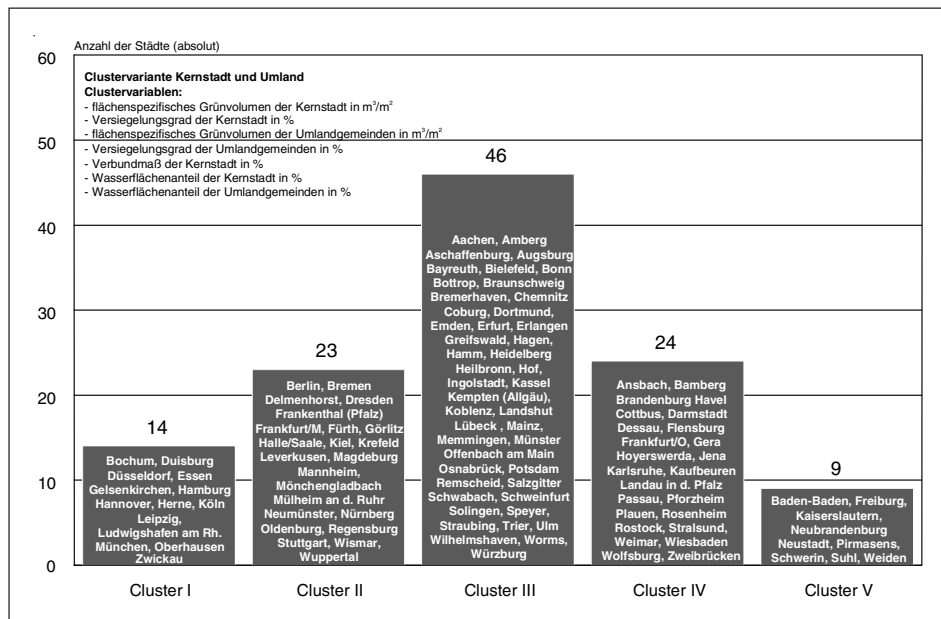


Abb. 10/08: Deutschlands kreisfreie Städte – Häufigkeitsverteilung nach Clustern mit den Variablen Grünvolumen, Versiegelungsgrad, Wasserflächenanteil für Kernstädte und Umlandgemeinden sowie dem Verbundmaß für Kernstädte (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Städte häufig sowohl Kernstadt als auch Umlandgemeinde. Die sehr hohe ökologische Qualität der Städte des Clusters V wird durch nutzungsstrukturelle und räumliche Stadtkenngößen reflektiert. Beispielsweise liegen die Mittelwerte der einwohnerspezifischen Grünflächen- und Grünvolumenausstattung, des Wald- und Wasserflächenanteils sowie des Verbundmaßes deutlich über denen der Cluster I bis IV (siehe Abschnitt 11).

Die Diskussion ökologischer Qualitätsniveaus ausgewählter Städte offenbart auch die Probleme stadtypologischer Untersuchungen, denen grundsätzlich sachlogische Wirkungsbeziehungen unterstellt werden (beispielsweise die Beziehungen der stadtoökologischen Qualität mit dem Verbundmaß), die im Einzelfall aber zu unerwarteten Klassenzuordnungen der Städte führen können. Die Stadt Brandenburg ist ein Beispiel für besondere lokale Strukturen und ökologische Qualitäten. Ihre hohe einwohnerspezifische Grünflächen- und Grünvolumenausstattung ($1\,809\text{ m}^2/\text{E}$ und $7\,543\text{ m}^3/\text{E}$), der hohe Wasserflächenanteil (19 %) und auch der geringe Versiegelungsgrad (7 %) bzw. geringe Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil (18 %) lassen eine sehr hohe stadtoökologische Qualität (Cluster V) vermuten, die durch die Clusteranalyse aber nicht bestätigt wird. Brandenburg wird u. a. deshalb dem Cluster IV zugeordnet, weil das Verbundmaß von ca. 52 % deutlich unter dem Mittelwert des

Clusters V von 93 % liegt. Die Typisierung folgt hier der These, dass ein hoher Grünflächenverbund die Funktionen der Stadtlandschaft (beispielsweise die Bodenfunktion, Klimafunktion und die Filter- und Pufferfunktionen des Bodens) erhöht und somit von wesentlichem Einfluss auf die stadtökologische Qualität ist. Unter diesem Aspekt ist die Einstufung in das Cluster IV konsequent. Andererseits verweisen Hege et al. (1999) und Nohl (1993) auf Systeme kleiner engmaschig verteilter Grünflächen und auf Mischstrukturen in den Verteilungsmustern von Grünflächen, die den Austausch unterschiedlich temperierter Luftmassen auf der räumlichen Mikroebene fördern und als stadtklimatische Regulative für die unmittelbar angrenzende Bebauung von positiver wohnqualitativer Bedeutung sind (s. a. Abschnitt 5). D. h., Mischstrukturen, die aus Band-, Stern-, kammartigen und auch dispersen Strukturen gebildet werden, entfalten eine positive Wirkung auf die teilstädtische Wohnqualität, die in der individuellen Verarbeitung die subjektive Lebensqualität, d. h. das Wohlbefinden wahrscheinlich stärker prägt als die aus den Funktionserhöhungen infolge eines starken Grünflächenverbundes hervorgehende gesamtstädtische ökologische Qualität. Die räumliche Verteilung städtischer Grünflächen weist in den Städte-Clustern deutliche Unterschiede auf. Die Grünmuster – als Abstraktionen räumlicher Grünflächenverteilung – verdeutlichen für ausgewählte kreisfreie Städte augenfällig die Abnahme der Isolation und die Zunahme des Verbundes städtischer Grünflächen von Cluster I bis zum Cluster V (Abb. 10/09). Beiden Tendenzen wird demzufolge eine positive Wirkung auf die stadtökologische Qualität unterstellt.

Bezüglich des Wasserflächen- bzw. Waldflächenanteils weisen Suhl (0 % bzw. 64 %) und Schwerin (29 % bzw. 20 %) ebenfalls besondere (extreme) lokale Strukturen auf. Die Typisierung folgt der These, dass natürliche Wasserflächen einerseits Träger ausgewählter ökologischer Flächenleistungen sind und insbesondere mit den bioklimatischen Ausgleichsleistungen qualitätssteigernd wirken. Andererseits sind Wasserflächen vegetationslose Flächen, die insbesondere bei assimilativen Flächenleistungen (Kohlendioxidverbrauch und Sauerstoffabgabe), die vordergründig von Grünflächen erbracht werden, Defizite aufweisen. Die clusteranalytischen Ergebnisse weisen beide Städte mit sehr hoher stadtökologischer Qualität aus (Cluster V) und belegen zugleich, dass das zur Anwendung gelangte Ranking-Verfahren die spezifischen Leistungsprofile von Wasser- und Grünflächen berücksichtigt und mit positiver Wirkung auf die stadtökologische Qualität in Rechnung stellt.

Die Städte des Clusters III befinden sich in einer Grenzsituation, in der neben der Sicherung des mittleren Qualitätsniveaus auch die Notwendigkeit der Entwicklung, d. h. die Verbesserung der stadtökologischen Situation durch nutzungsstrukturelle Veränderungen sichtbar wird. Am Abstand der Mittelwerte ausgewählter nutzungsstruktureller Kenngrößen zwischen Städten der Cluster III und IV werden insbesondere Bedarfe nach Grünflächen mit der Vegetationsschichtung „mittel“ und „hoch“ sichtbar, deren Deckung zu hohen Anteilen im Rahmen des Brachflächenrecyclings erfolgen kann.

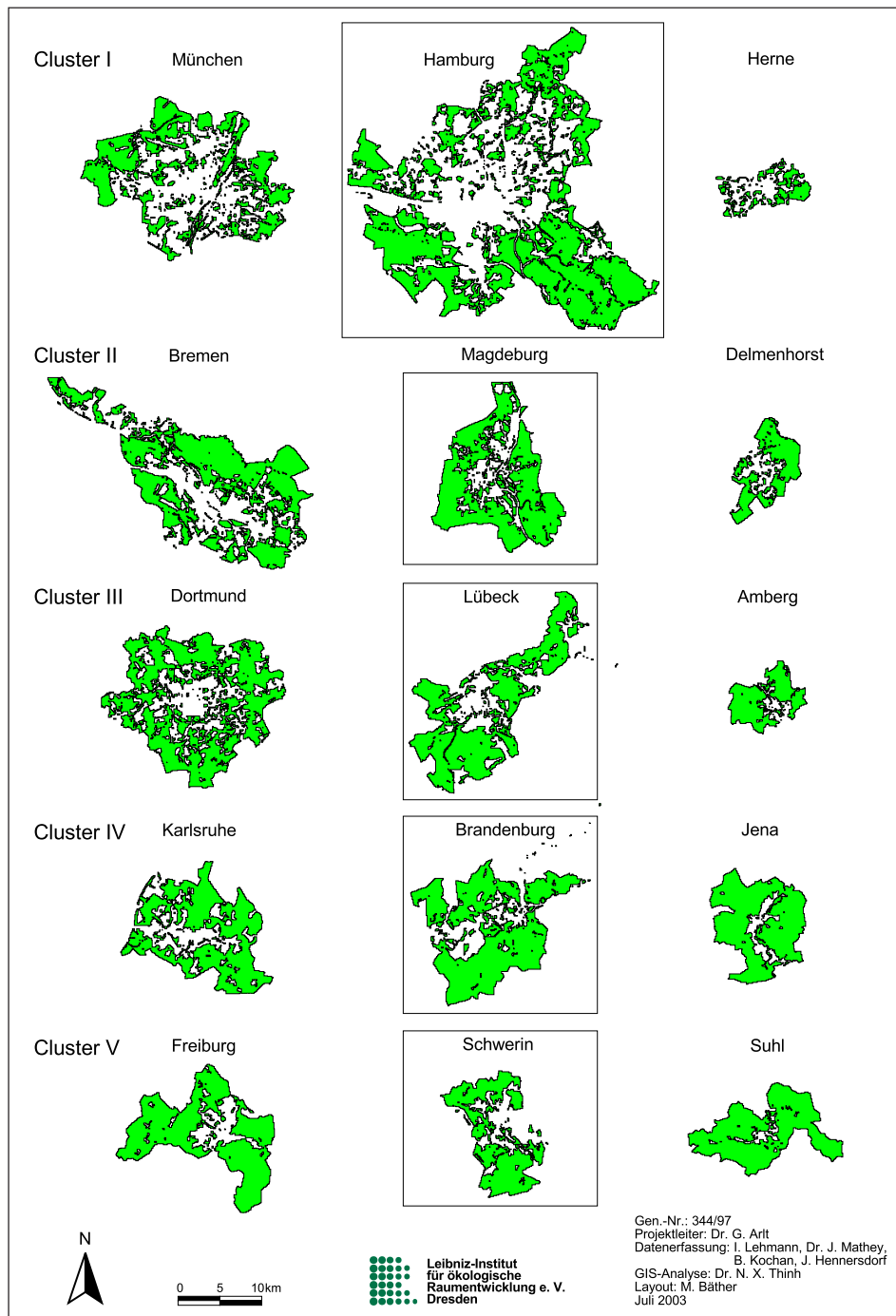


Abb. 10/09: Darstellung der Grünmuster der Clusterrepräsentanten (eingrahmt) und weiterer ausgewählter Städte
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Ausgehend von einer deutlichen Zunahme der stadtökologischen Qualität bei abnehmender Bevölkerungs- bzw. Siedlungsdichte können Städte mit Bevölkerungsverlusten von einem Gewinn an ökologischer Lebensraumqualität ausgehen. Eine Tendenz, die auf den Zusammenhang zwischen Dichte und Nutzungs- bzw. Flächenintensität zurückgeführt werden kann. Insbesondere die Erhöhung der Flächenintensität führt zu Verlusten in der ökologischen Qualität. Vor diesem Hintergrund sind demografische und wirtschaftliche Schrumpfungsprozesse und auch der sozial-demografische Bevölkerungswandel in ihren Auswirkungen auf die Intensität der Nutzung städtischer Strukturen und die Intensität der Freiflächeninanspruchnahme quantitativ zu erfassen und einer qualitativen Bewertung zu unterziehen.

An den dargestellten Ergebnissen werden Möglichkeiten und Grenzen der Clusteranalyse sichtbar. Zu den Möglichkeiten gehören u. a. die Beschreibung stadtypischer Niveaus der ökologischen Qualität sowie die Ableitung stadtypischer Mittelwerte und Bandbreiten von Kenngrößen der Flächennutzungsstruktur. Die Grenzen der Clusteranalyse liegen in der Begründung von wirkungsanalytisch unerwarteten ökologischen Situationen, die auf stadt- bzw. standortspezifische Gegebenheiten zurückzuführen sind und einer Einzelfallbetrachtung bedürfen.

11 Deutschlands kreisfreie Städte – stadttypologische Gliederung

Clusterdifferenzierte Lagewerte ausgewählter struktureller Kenngrößen

Neben der Entwicklung von Städte-Clustern auf der Grundlage von Bodenversiegelung, Grünvolumen, Wasserflächen und Grünflächenverbund (Abschnitt 10.3.2) verfolgen die stadttypologischen Untersuchungen ein weiteres Ziel mit der Ableitung clusterdifferenzierter Lagewerte (Mittel- und Extremwerte) für ausgewählte stadtstrukturelle Kenngrößen. Clusterdifferenzierte Lagewerte vermitteln stadttypische Größenordnungen struktureller Situationen und damit zugleich eine Stadttypen-Charakteristik. Sie sind Grundlage der Beschreibung und Bewertung von Ausgangs- und Rahmenbedingungen entwicklungsstrategischer Konzeptionen und langfristiger Perspektiven.

Die stadttypologische Gliederung legt clusterdifferenzierte Lagewerte von 15 Merkmalsvariablen der Kernstädte zugrunde, darunter Kenngrößen

- der Flächennutzungsstruktur (Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil, Grünflächenanteil, Waldflächenanteil, Wasserflächenanteil, Versiegelungsgrad, Isolationsmaß und Verbundmaß),
- der Flächennutzungsdichte (Bevölkerungsdichte, Siedlungsdichte),
- des flächenspezifischen Grünvolumens (Grünvolumen der Vegetationsschicht „mittel“ je m², Grünvolumen der Vegetationsschicht „hoch“ je m², Grünvolumen aller Vegetationsschichten je m²),
- der einwohnerspezifischen Grünflächen- und Grünvolumenausstattung (Grünfläche je Einwohner, Grünvolumen je Einwohner),
- der räumlichen Grünflächenverteilung (Isolationsmaß und Verbundmaß) und
- der Flächenproduktivität in Form der flächenspezifischen Bruttowertschöpfung.

Die Clusterrepräsentanten werden als Lösung einer Optimierungsaufgabe bezüglich der 7 verwendeten Clustervariablen ermittelt: Aus jedem Cluster ist eine Stadt x zu suchen mit

$$\sum_{i=1}^7 (\text{Merkmal } i \text{ von } x - \text{Mittelwert vom Merkmal } i \text{ vom Cluster})^2 \rightarrow \min!$$

Der Clusterrepräsentant erfüllt somit die Bedingung, dass die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen den Merkmalswerten einer beliebigen Stadt des

Clusters und den entsprechenden clustereigenen Mittelwerten gerade das Minimum erreicht.

Die clusterdifferenzierten Mittelwerte bilden stadtypische Tendenzen ab, die in der Vorzugsvariante der Clusteranalyse (Abschnitt 10.3.2) deutlich zu beobachten sind:

- Die Mittelwerte der Kenngrößen der Flächennutzungsstruktur liegen in steigenden und fallenden Tendenzen (Abb. 11/01): Der mittlere Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil fällt von 63 % im Cluster I auf 24 % im Cluster V deutlich ab (Abb. 11/01). Der Abstand von nahezu 40 % ist erheblich und weist auf deutliche Unterschiede in den Proportionen kernstädtischer Siedlungs- und Freiräume hin, die von grundlegender Bedeutung für die stadtoökologische Qualität sind. Extreme Siedlungsraumsituationen liegen in Herne (75 % Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil) und Baden-Baden (14 %) vor. Der mit der Siedlungs- und Verkehrsfläche korrespondierende Versiegelungsgrad zeigt ebenfalls eine fallende Tendenz vom Cluster I zum Cluster V. Er steht als kommunaler Basisindikator (vgl. Arlt et al. 2001) in signifikanter Beziehung zu den ökologischen Flächenleistungen und damit zur stadtoökologischen Qualität. Bemerkenswert sind die deutlichen Abstände des mittleren Versiegelungsgrades von 8 % zwischen Cluster I und II und von 6 % zwischen den Clustern II und III, die auf größere Niveauunterschiede in der ökologischen Qualität der Cluster I, II, III gegenüber den Clustern IV und V schließen lassen. Extreme Situationen in der Bodenversiegelung treten in München (35 %) und Baden-Baden (4 %) auf.

Die Zunahme der **Grün- und Waldflächenanteile** von Cluster I bis V ist plausibel und verläuft komplementär zur Abnahme des Versiegelungsgrades (Abb. 11/01 und 11/02). Während der Grünflächenanteil eine ausschließlich quantitative Kenngröße ist, verbindet sich mit dem Waldflächenanteil das qualitative Merkmal der hohen Vegetationsschichtung und weitergehend ein wesentlicher Einfluss auf die klimatische und lufthygienische Situation der Kernstädte. Sowohl die Mittelwerte der Cluster (zwischen 8 % Cluster I und 41 % Cluster V) als auch die Extremwerte (3 % in Ludwigshafen und 64 % in Suhl) verdeutlichen grundlegende Unterschiede in den Rahmenbedingungen und damit verbundener Qualitätsniveaus der Städte. Kernstädtische **Wasserflächen** sind ökologische Leistungsträger und erbringen überdurchschnittliche ökologische Flächenleistungen (Abschnitt 10.1.1). Die Clusteranalyse trägt dem überdurchschnittlichen ökologischen Leistungsvermögen von Wasserflächen Rechnung. Städte mit mehr als 10 % Wasserflächenanteil erfahren eine Zuordnung in die Cluster III bis V und liegen auf der Bewertungsskala zwischen mittlerer bis sehr hoher stadtoökologischer Qualität. Auffällig ist die Lage der Städte Schwerin und Suhl mit extremen Wasserflächenanteilen (29 % und 0 %) im Cluster V (Abb. 11/01). In der Stadt Suhl treten mit fehlenden Wasserflächen und sehr hohen Waldflächenanteilen (64 %) extreme Rahmenbedingungen in der Flächennutzung auf. Die clusteranalytische Bewertung der Stadt Suhl mit sehr hoher stadtoökologischer Qualität ist auf eine Kompensation fehlender ökologischer Leistungen von Wasserflächen durch

ökologische Leistungen dominierender Waldflächen in der Flächennutzung zurückzuführen.

- Die Flächennutzungsichte in Form flächenspezifischer Einwohnerzahlen steht in negativer Beziehung zur stadtökologischen Qualität.

Die mittleren **Bevölkerungs- und Siedlungsdichten** nehmen von Cluster I bis Cluster V ab (Abb. 11/01). Die Tendenzen sind eindeutig und kennzeichnen sowohl mit den Mittelwerten der Cluster (Bevölkerungsdichte zwischen 2 632 und 716 E/km² Stadtfläche; Siedlungsdichte zwischen 43 und 30 E/ha Siedlungs- und Verkehrsfläche) als auch mit den Extremwerten zwischen München (3 947 E/km² bzw. 56 E/ha) und Baden-Baden (376 E/km²) bzw. Salzgitter (18 E/ha) weit auseinander liegende stadttypische und stadtspezifische Rahmenbedingungen. Die flächenspezifischen Einwohnerzahlen stehen mit der Nutzungsintensität der Fläche und der Flächenintensität der Nutzung in positiver Beziehung. Mit steigender Bevölkerungs- und Siedlungsdichte gehen Intensitätssteigerungen, damit Einschränkungen bzw. Reduzierungen der ökologischen Flächenleistungen und Verluste in der ökologischen Qualität einher.

- Das flächenspezifische Grünvolumen steht als einflussreicher Qualitätsfaktor erwartungsgemäß in positiver Beziehung zur stadtökologischen Qualität (Abb. 11/02). Die Abstände zwischen Cluster I und Cluster V sind teilweise erheblich und liegen bezogen auf die Mittelwerte beim flächenspezifischen Grünvolumen
 - aller Schichten zwischen 1,97 und 4,03 m³/m²,
 - der Vegetationsschicht „hoch“ zwischen 1,52 und 3,46 m³/m²,
 - der Vegetationsschicht „mittel“ zwischen 0,20 und 0,39 m³/m².

Ähnlich dem Versiegelungsgrad besitzt das Grünvolumen fundamentale Bedeutung für den stofflichen, energetischen und informationellen Zustand der städtischen Umwelt. Es ist aufgrund seiner komplexen Wirkungsbeziehungen insbesondere in entwicklungsstrategischen Orientierungen der Städte als kommunale Kenngröße mit Basisindikatorfunktion anzusehen. Als Zustandsindikator für gesamtstädtische Maßstabsebenen ist das flächenspezifische Grünvolumen, das nach möglichst einfachen, wissenschaftlich vertret- und messbaren Indikatoren zur Beschreibung und Bewertung komplexer Wirkungszusammenhänge ermittelt wird, ausreichend. Der Basisindikatorfunktion werden insbesondere die grundlegenden Funktionen bzw. Leistungen der Vegetation im bioklimatischen Ausgleich, in der Lufthygiene, in der Biotopbildung, in der Grundwasserneubildung sowie im Boden- und Immissionsschutz zugrunde gelegt und ein signifikanter Einfluss auf stadtökologische Qualitätsniveaus unterstellt.

- Die einwohnerspezifische Grünflächen- und Grünvolumenausstattung reflektiert die den Clustern zugeordneten Skalenbereiche von sehr niedriger bis sehr hoher stadtökologischer Qualität (Abb. 11/02).

Die mittlere **einwohnerspezifische Grünflächenausstattung** reicht von 265 m²/E im Cluster I bis 1 368 m²/E im Cluster V und kennzeichnet ebenso wie die Extremwerte von 163 m²/E (München) und 2 479 m²/E (Baden-Baden) stadtypische bzw. stadtspezifische Rahmenbedingungen. Das Grünflächenausstattungs-niveau bestimmt nicht unwesentlich die strategischen Entwicklungspfade der Städte, die von einer verstärkten Freiflächenentwicklung im Rahmen des Brachflächenrecyclings bis hin zur Freiflächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke verlaufen können. Das **einwohnerspezifische Grünvolumen** ist Ausdruck der durch Pflanzen gebildeten vertikalen Strukturierung des städtischen Lebensraumes. Im Unterschied zur zweidimensionalen Kenngröße „Grünfläche“, die eine quantitative Beschreibung und Bewertung der Flächennutzungsstruktur unterstützt, enthält die dreidimensionale Kenngröße „Grünvolumen“ die qualitative Komponente der Vegetationsschichtung. Es ist davon auszugehen, dass die ökologischen Leistungen städtischer Flächen und weitergehend die stadtoökologische Qualität dem Einfluss des Grünvolumens signifikant unterliegen. Die einwohnerspezifische Grünvolumenausstattung verläuft vom Cluster I (Mittelwert 767 m³/E) zum Cluster V (6 873 m³/E) mit steigender Tendenz (Abb. 11/02) und unterstreicht damit wiederum stadtypische und stadtspezifische Unterschiede innerhalb der kreisfreien Städte.

- Die räumliche Grünflächenverteilung nimmt Einfluss auf die Funktionen bzw. Leistungen städtischer Flächen und weitergehend auf die stadtoökologische Qualität sowie die ökologische Qualität städtebaulicher Räume. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass miteinander verbundene Grünflächen mehr qualitätsfördernde Leistungen erbringen als isolierte Grünflächen. Diese These steht in der Analogie zum Biotopverbund, dessen Ziel u. a. in der Sicherung und Entwicklung artgerechter Habitatsprüche (beispielsweise an Klima, Witterung) besteht (Abb. 11/03). Andererseits werden auch isolierten Grünflächen mit definierten Mindestgrößen positive Qualitätswirkungen zuerkannt, insbesondere dann, wenn sie sich in räumlicher Nachbarschaft zur Bebauung befinden. In diesen Fällen werden die mikroklimatischen Wirkungen der Vegetation unter der Verbesserung der Wohnumfeldqualität subsumiert. Die eindeutigen Tendenzen (fallend bei den Mittelwerten des **Isolationsmaßes** und steigend beim **Verbundmaß**) von Cluster I bis Cluster V (Abb. 11/02) stützen die These vom positiven Einfluss des Grünflächenverbundes auf die stadtoökologische Qualität. Auffallend sind hier die extremen stadtspezifischen Bedingungen, die von 15 % verbundener Grünfläche an der gesamten städtischen Grünfläche in Duisburg bis 100 % in Plauen und Suhl reichen.
- Die eindeutig negative Beziehung der Flächenproduktivität zur stadtoökologischen Qualität (Abb. 11/01) geht auf eine Scheinkorrelation zurück. Der eigentliche Prädiktor in der Qualitätsbeziehung ist der Versiegelungsgrad, mit dem die flächenspezifische Bruttowertschöpfung signifikant korreliert (Arlt et al. 2001, 144).

Cluster	I	II	III	IV	V
Städte – Anzahl	14	23	46	24	9
Merkmalsname					
Bevölkerungsdichte (Kernstadt) in E/km²	3947 München 2632 Düsseldorf 1398 Zwickau	3795 Berlin 1878 Halle 1095 Frankenthal (Pfalz)	2609 Offenbach 1211 Potsdam 453 Salzgitter	1665 Stralsund 937 Jena 400 Ansbach	1331 Freiburg (Breisgau) 716 Kaiserslautern 376 Baden-Baden
Siedlungsdichte (Kernstadt) in E/ha	56 München 42 Essen 36 Ludwigshafen	56 Stuttgart 38 Görlitz 23 Neumünster	55 Offenbach 32 Potsdam 18 Salzgitter	44 Rosenheim 31 Flensburg 19 Zweibrücken	43 Freiburg (Breisgau) 30 Suhl 23 Weiden (Oberpfalz)
Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil (Kernstadt) in %	75 Herne 63 Duisburg 36 Zwickau	69 Berlin 49 Neumünster 33 Frankenthal (Pfalz)	58 Kassel 37 Potsdam 22 Memmingen	48 Flensburg 29 Passau 18 Brandenburg	31 Freiburg (Breisgau) 24 Schwerin 14 Baden-Baden
Waldflächenanteil (Kernstadt) in %	14 Köln 8 Duisburg 3 Ludwigshafen	26 Dresden 10 Mönchengladbach 1 Frankenthal (Pfalz)	42 Hagen 18 Aachen 1 Straubing	52 Hoyerswerda 26 Karlsruhe 2 Flensburg	64 Suhl 41 Freiburg (Breisgau) 10 Neubrandenburg
Wasserflächenanteil (Kernstadt) in %	10 Duisburg 4 Herne 1 Zwickau	9 Kiel 4 Halle 1 Görlitz	28 Bremerhaven 4 Bonn 1 Aachen	19 Brandenburg 4 Frankfurt/O 1 Cottbus	29 Schwerin 7 Baden-Baden 0 Suhl
Versiegelungsgrad (Kernstadt) in %	35 München 28 Bochum 24 Hamburg	29 Berlin 20 Leverkusen 11 Frankenthal (Pfalz)	25 Chemnitz 14 Bayreuth 8 Erfurt	21 Stralsund 11 Cottbus 6 Ansbach	11 Freiburg (Breisgau) 8 Neubrandenburg 4 Baden-Baden
Flächenproduktivität (Kernstadt) in EUR/m² S.-V.-Fläche	261 München 121 Köln 51 Zwickau	299 Frankfurt/M 102 Wuppertal 38 Görlitz	165 Offenbach 91 Trier 40 Bottrop	197 Karlsruhe 79 Passau 31 Brandenburg	121 Freiburg (Breisgau) 70 Schwerin 46 Neustadt (Weinstraße)
Clusterrepräsentanten	Hamburg	Magdeburg	Lübeck	Brandenburg	Schwerin

Abb. 11/01: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte ausgewählter cluster-differenzierter Kenngrößen zur Charakterisierung der Flächennutzungsstruktur (Quelle: Eigene Bearbeitung)

Cluster	I	II	III	IV	V
Städte – Anzahl	14	23	46	24	9
Merkmalsname					
Grünflächenanteil (Kernstadt) in %	73 Zwickau	84 Frankenthal (Pfalz)	87 Erfurt	91 Landau (Pfalz)	93 Baden-Baden
	63 Herne	63 Görlitz	59 Bremerhaven	65 Flensburg	60 Schwerin
Flächenspezifisches Grünvolumen aller Vegetationsschichten (Kernstadt) in m³/m²	2,35 Oberhausen	3,25 Dresden	4,16 Hagen	4,82 Pforzheim	5,88 Suhl
	1,46 Ludwigshafen	1,06 Frankenthal	1,04 Straubing	1,39 Stralsund	1,77 Neubrandenburg
Flächenspezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht "mittel" (Kernstadt) in m³/m²	0,24 Oberhausen	0,33 Dresden	0,39 Hagen	0,50 Pforzheim	0,56 Suhl
	0,13 Ludwigshafen	0,07 Frankenthal (Pfalz)	0,07 Emden	0,14 Stralsund	0,18 Neubrandenburg
Flächenspezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht "hoch" (Kernstadt) in m³/m²	1,95 Oberhausen	2,74 Dresden	3,59 Hagen	4,19 Pforzheim	5,24 Suhl
	0,94 Ludwigshafen	0,39 Frankenthal (Pfalz)	0,44 Straubing	0,87 Stralsund	1,32 Neubrandenburg
Einwohnerspezifische Grünflächen- ausstattung (Kernstadt) in m² Grünfläche /E	434 Zwickau	782 Frankenthal (Pfalz)	1726 Salzgitter	2233 Ansbach	2479 Baden-Baden
	163 München	169 Berlin	296 Offenbach	434 Flensburg	644 Freiburg (Breisgau)
Einwohnerspezifische Grünvolumen- ausstattung (Kernstadt) in m³ Grünvolumen /E	1131 Zwickau	1604 Dresden	4869 Memmingen	7543 Brandenburg	14423 Baden-Baden
	473 München	731 Berlin	763 Mainz	848 Stralsund	2052 Neubrandenburg
Grünflächen- Isolationsmaß (Kernstadt) dimensionslos	186 Hamburg	215 Berlin	71 Lübeck	78 Landau (Pfalz)	44 Freiburg (Breisgau)
	14 Herne	10 Wismar	9 Schwabach	7 Kaufbeuren	12 Pirmasens
Grünflächen- Verbundmaß (Kernstadt) in %	72 Ludwigshafen	96 Mönchengladbach	99 Bielefeld	100 Plauen	100 Suhl
	15 Duisburg	20 Berlin	37 Koblenz	47 Passau	52 Schwerin
Clusterrepräsentanten	Hamburg	Magdeburg	Lübeck	Brandenburg	Schwerin

Abb. 11/02: Deutschlands kreisfreie Städte – Mittel- und Extremwerte ausgewählter cluster-differenzierter Kenngrößen zur Charakterisierung der Grünflächen- und Grünvolumensituation von Kernstädten
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Entwicklungsdauer des Biotoptyps	Größe (Fläche bzw. Breite bei linearen Biotoptypen)			Isolation/ Verbundsituation	Ausprägung/ Wertstufe	
	Flächige Biotope	Lineare Biotope z. B. Hecken, Böschungen	Fließgewässer mit Uferzone		Außenbereich ländliche Siedlungen * Stadttrandzone	Kernzone **
Es bestehen in Abhängigkeit vom Arteninventar auf der Fläche sowie in der Umgebung erhebliche Unterschiede				Möglichkeit zur Zu- und Abwanderung von Arten und Individuen		
>100 Jahre – artenreiche Wälder, ursprüngliche Fließgewässer, Parks mit walddartigem Baumbestand	>5 ha	>10 m	>15 m	Optimaler Verbund – Biotop mit direktem räumlichen Kontakt zu einem gleichartigen oder ähnlichen Biotop	sehr gut / A	sehr gut / A
50-100 Jahre – Fichtenforste, artenreiche Gehölze und Fließgewässer, Parks mit walddartigem Baumbestand, zweischürige Wiesen, Halbtrockenrasen, Heiden, Streuobstwiesen mit alten Obstbaumbeständen	1-5 ha	5-10 m	10-15 m	Guter Verbund – kurze Entfernung (bis 100 m) zu einem gleichartigen oder ähnlichen Biotop – dazwischen keine Ausbreitungshindernisse und keine Flächen mit gegensätzlichen abiotischen Umweltbedingungen	gut / B	sehr gut / A
25-50 Jahre – noch wenig differenzierte Gehölze und Fließgewässer, Streuobstwiesen, Parks mit Baumbeständen, durchschnittliche zweischürige Wiesen	0,25-1 ha	3-5 m	5-10 m	Schwacher Verbund / schwache Isolation – große Entfernung (>100 m*) zu einem gleichartigen oder ähnlichen Biotop – dazwischen keine Ausbreitungshindernisse und keine Flächen mit gegensätzlichen abiotischen Umweltbedingungen	mittel / C	gut / B
5-25 Jahre – ruderal Gehölze und Fließgewässer, ausdauernde Ruderalfluren, artenarme Glatthaferwiesen, Säume, Gewässer mit eutraphenter Vegetation, Zierrasen mit Wiesenarten	0,05 -0,25 ha	1-3 m	1-5 m	Starke Isolation – kurze Entfernung (bis 100 m) zu einem gleichartigen oder ähnlichen Biotoptyp – dazwischen zusätzlich Ausbreitungshindernisse oder Flächen mit gegensätzlichen abiotischen Umweltbedingungen	schlecht / D	mittel / C
<5 Jahre – kurzlebige Ruderalfluren, Ackerwildkrautgesellschaften, Pionierfluren, Sandmagerrasen und Schlagfluren (alle ohne Vorkommen von gefährdeten Arten, reine Zierrasen)	bis 0,05 ha	bis 1 m	bis 1 m	Sehr starke Isolation – große Entfernung (>100 m) zu einem gleichartigen oder ähnlichen Biotop – dazwischen zusätzlich Ausbreitungshindernisse oder Flächen mit gegensätzlichen abiotischen Umweltbedingungen	sehr schlecht / E	schlecht, sehr schlecht / D, E

* bei mehr als 1000 m Entfernung zu gleichartigen oder ähnlichen Biotopen erfolgt eine Abwertung!

** i. d. R. City, Altstadt, Block- und Blockrandbebauung, Industrie- und Gewerbeflächen, Kläranlagen, Bahn- und Hafenanlagen, Straßenverkehrsflächen sowie sonstige Ver- und Entsorgungsanlagen

Abb. 11/03: Schlüssel zur ökologischen Bewertung von Freiflächen im Ballungsraum Mittlerer Neckar
(Quelle: Auszug aus: Grunicke, Böcker, Richter 2002, Auszug aus der Beilage)

Die Diskussion der clusterdifferenzierten mittleren Kenngrößen bzw. Indikatoren wird mit dem Hinweis auf die im Rahmen der Clusteranalyse identifizierten Städte als Repräsentanten für die Cluster abgeschlossen. Die Clusterrepräsentanten sind auf der Grundlage der Nähe ihrer Merkmalswerte zu den Mittelwerten der Merkmalsvariablen in den Clustern bestimmt worden. Dabei wurden die 7 bei der Clusteranalyse verwendeten Variablen in die Bestimmung einbezogen. Die Analyse weist den Städten Hamburg, Magdeburg, Lübeck, Brandenburg und Schwerin eine Repräsentantenfunktion in den Clustern von I nach V zu. Sowohl diese Zuweisung als auch die Ergebnisse der Bestimmung der clustereigenen Lagewerte (Mittelwert, Minimum und Maximum; Abb. 11/01 und 11/02) für die 15 Merkmalsvariablen sind plausibel und legen die Richtigkeit der inhaltlichen Überlegung und der mathematischen Analyse nahe.

12 Ansätze einer stadtypendifferenzierten entwicklungsstrategischen Orientierung

Wesentliche Ergebnisse der stadtypologischen Untersuchungen sind clusterdifferenzierte Mittelwerte der Grünflächenanteile und flächenspezifischen Grünvolumen sowie nutzungsstrukturelle Kenngrößen der Flächennutzungsproportionen, Flächennutzungsichte und Flächenausstattung sowie der räumlichen Grünflächenverteilung. Die Städte-Cluster nehmen auf die Raumebene Kernstadt und folgende Clustervariablen Bezug (Abschnitt 10.3):

- Versiegelungsgrad der Kernstadt [%],
- Flächenspezifisches Grünvolumen der Kernstadt [m^3/m^2],
- Wasserflächenanteil der Kernstadt [%],
- Versiegelungsgrad der Umlandgemeinden [%],
- Flächenspezifisches Grünvolumen der Umlandgemeinden [m^3/m^2],
- Wasserflächenanteil der Umlandgemeinden [%],
- Verbundmaß der Kernstadt [%].

In der Diskussion über die Sicherung und Entwicklung ökologischer Qualitätsniveaus in Städten können die clusterdifferenzierten Mittelwerte als stadtypische Ausgangs- und Rahmenbedingungen gesehen werden, unter denen eine stadtypendifferenzierte entwicklungsstrategische Orientierung gegeben werden kann.

In Anlehnung an die methodisch-inhaltlichen Überlegungen zur Ableitung von Orientierungswerten für eine ökologisch-ökonomisch ausgewogene Stadtentwicklung (Arlt et al. 2001, 169) wird die entwicklungsstrategische Orientierung anhand von „aufzeigenden“ Mittelwerten gegeben, die aus den Mittelwerten der Städte-Cluster hervorgehen. Mit „aufzeigenden“ Mittelwerten können strukturelle Unterschiede sichtbar und messbar gemacht werden, die mit den ökologischen Qualitätsniveaus der Cluster korrespondieren. „Aufzeigende“ Mittelwerte ermöglichen den Städten die Positionsbestimmung und eine „Abstandsmessung“, d. h. Bestimmung von Differenzen beispielsweise in der Grünflächen- und Grünvolumensituation sowie in den nutzungsstrukturellen Kenngrößen. Die entwicklungsstrategische Orientierung zur Sicherung und Entwicklung der ökologischen Qualitätsniveaus (Tab. 12/02) nimmt auf diese Differenzen Bezug.

Der clusterdifferenzierte Mittelwertansatz geht von folgenden Grundsätzen aus (Arlt et al. 2001, 169):

- Jede Stadt hat unterschiedliche Voraussetzungen und Strukturen und bedarf deshalb individueller Lösungen und eigener Schwerpunktsetzungen. Darüber hinaus bestehen stadtypische Wirkungszusammenhänge zwischen Flächennutzungsstruktur und städtischem Leistungsvermögen, die stadtypendifferenzierte entwicklungsstrategische Orientierungen für die Städte auf ihrem individuellen Entwicklungsweg rechtfertigen.
- Generelle Entwicklungsvorgaben, die aus gesellschaftlichen Strategien entwickelt werden (beispielsweise die Reduzierung der Flächeninanspruchnahmen für Siedlungs- und Verkehrszwecke) sind an den stadtypischen Strukturen zu reflektieren und gegebenenfalls ausdifferenzieren.

In den Überlegungen zur strategischen Orientierung der Städte auf die Sicherung und Entwicklung der ökologischen Qualität gilt es, Fragen nach den Entwicklungspotenzialen und Grenzen auf wichtigen Handlungsfeldern der Flächennutzung zu beantworten. Dazu zählen die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche, der städtebaulichen Dichte, der Grün- und Freiflächen, der Flächenproduktivität sowie die Nutzung von Brach- und Konversionsflächen. Zur Beantwortung der Fragen werden in Tab. 12/02 vor dem Hintergrund der clusterdifferenzierten Mittelwerte und daraus abgeleiteter aufzeigender Mittelwerte qualitätsorientierte Entwicklungsrichtungen dargestellt.

An dieser Stelle sei auf eine Vergleichsmöglichkeit mit clusteranalytischen Ergebnissen über eine ökonomisch-ökologisch ausgewogene Stadtentwicklung hingewiesen (Arlt et al. 2001). Interessant erscheint hierbei insbesondere die Gegenüberstellung von aufzeigenden Mittelwerten der mittleren Cluster III, in denen (a) Städte mit aus-

Tab. 12/01: Vergleich „aufzeigender“ Mittelwerte in ausgewählten Handlungsfeldern der Flächennutzung bei strategischer Orientierung der Städte auf (a) ökonomisch-ökologisch ausgewogene Flächenleistung und (b) auf mittlere ökologische Flächenleistung/Qualität
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Handlungsfelder Flächennutzung/ spezifische Kenngrößen	„Aufzeigende“ Mittelwerte	
	Städte-Cluster III mit ausgewogenen ökonomisch-ökologischen Leistungen (Quelle: Arlt et al. 2001, 171)	Städte-Cluster III mit mittlerer ökologischer Leistung bzw. Qualität (Quelle: Eigene Bearbeitung)
Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche – Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil [%] – Flächenproduktivität [EUR/m ² S-V-Fläche]	40 111	35 90
Entwicklung städtebaulicher Dichte – Bevölkerungsdichte [E/km ²] – Siedlungsdichte [E/ha]	1 750 40	1 250 35
Entwicklung von Freiflächen und Freiraum – Versiegelungsgrad [%]	18	15

gewogenen ökonomisch-ökologischen Leistungen und (b) Städte mit mittleren ökologischen Leistungen und davon ausgehend mit mittlerer ökologischer Qualität gruppiert sind. Die Gegenüberstellung von ausgewählten Kenngrößen (Tab. 12/01) macht die nutzungsstrukturellen Unterschiede von Stadttypen mit unterschiedlichen Eigenschaften messbar.

Clusterdifferenzierte Mittelwerte und aufzeigende Mittelwerte (überwiegend mittlere Werte des Clusters III) quantifizieren die Strukturunterschiede der Städte. Sie bilden die Grundlage für die ökologische Bewertung und die Formulierung von stadtypischen Ausgangs- und Rahmenbedingungen. Sie sind als Orientierungshilfen für die weitere Entwicklung der Städte aus ökologischer Sichtweise zu verstehen und machen individuelle Entwicklungspotenziale und Grenzen sichtbar. Tabelle 12/02 lässt sich wie folgt entwicklungsstrategisch interpretieren:

Entwicklung der Siedungs- und Verkehrsfläche:

- Unvermeidbare Neubelegungen von Flächen im Freiraum sind eher in den Städten der Cluster IV und V möglich; in den Städten der Cluster II und III sollte vorrangig Innenentwicklung, weniger Außenentwicklung erfolgen;
- die Städte des Clusters I sollten ausschließlich Neubauf lächen im Innenbereich der Städte durch Nutzung von Baulücken, Brachflächen sowie Um- und Ausbau im Gebäudebestand erschließen.

Der aufzeigende Mittelwert für eine mittlere stad t ökologische Qualität beträgt ca. 35 % Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil. Eine vergleichende Betrachtung der aufzeigenden Mittelwerte in den Städte-Clustern III mit den strategischen Orientierungen auf

(a) eine ökonomisch-ökologisch ausgewogene Leistungsentwicklung und

(b) ein mittleres ökologisches Qualitätsniveau

weist einen Abstand im Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil von 5 % aus (Tab. 12/01). Der Abstand quantifiziert ein nutzungsstrukturelles Maß für bestehende Unterschiede in den Eigenschaftsstrukturen der Städte und zeigt zugleich einen Wachstumsanteil an Siedlungs- und Verkehrsfläche an, der mit einem Strategiewechsel von einer ausschließlich auf eine mittlere ökologische Qualität orientierten Stadtentwicklung hin zu einer ökonomisch-ökologisch ausgewogenen Stadtentwicklung zu erwarten ist. Damit wird auch ein Beitrag zur quantifizierten Bewertung von Leitbildern und deren nutzungsstrukturellen Wirkungsrichtungen geleistet. Im dargestellten Vergleich erhöhen 5 % mehr an Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil die sozialökonomischen Funktionen bzw. Leistungen städtischer Flächen und den Versiegelungsgrad um etwa 2 % bis 3 %. Die Zunahme an Bodenversiegelung ist mit ökologischen Funktions- und Qualitätsverlusten verbunden.

Tab. 12/02: Clusterdifferenzierte strategische Orientierung im Handlungsfeld Flächennutzung für die kreisfreien Städte Deutschlands aus ökologischem Ansatz
(Quelle: Eigene Bearbeitung)

Flächendifferenzierte Kenngrößen und Entwicklungsschwerpunkte	Cluster I	Cluster II	Cluster III	Cluster IV	Cluster V
Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche	➔	➔	➡	➤	➤
Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil in % (aufzeigender Mittelwert)	63	49	37 (35)	29	24
Nutzung von Brach-, Konversionsflächen zur Verbesserung der Grünflächen- und Grünvolumensituation	➤	➤	➡	➡	➡
Grünflächenanteil in % (aufzeigender Mittelwert)	67	73	80 (80)	82	83
Flächenspezifisches Grünvolumen aller Vegetationsschichten in m³/m² (aufzeigender Mittelwert)	1,97	1,99	2,42 (2,40)	2,96	4,03
Flächenspezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „mittel“ in m³/m² (aufzeigender Mittelwert)	0,20	0,20	0,23 (0,25)	0,29	0,39
Flächenspezifisches Grünvolumen der Vegetationsschicht „hoch“ in m³/m² (aufzeigender Mittelwert)	1,52	1,48	1,86 (1,90)	2,37	3,46
Grünflächenverbundmaß in % (aufzeigender Mittelwert)	44	60	76 (75)	87	93
Grünflächenisoliationsmaß [dimensionslos] (aufzeigender Mittelwert)	50	40	27 (30)	27	26
Entwicklung der städtebaulichen Dichte	➔	➔	➡	➡	➤
Bevölkerungsdichte in Einwohner pro km² (aufzeigender Mittelwert)	2 632	1 878	1 211 (1 250)	937	716
Siedlungsdichte in Einwohner pro ha (aufzeigender Mittelwert)	42	38	32 (35)	31	30
Entwicklung der Grünausstattung	➤	➤	➡	➡	➡
Einwohnerspezifische Grünflächenausstattung in m² Grünfläche pro Einwohner (aufzeigender Mittelwert)	265	436	767 (750)	1 085	1 368
Einwohnerspezifische Grünvolumenausstattung in m³ Grünvolumen pro Einwohner (aufzeigender Mittelwert)	767	1 085	2 173 (2 200)	3 845	6 873
Entwicklung der Freiflächen, des Freiraumes und der ökologischen Qualität	➤	➤	➡	➡	➡
Waldflächenanteil in % (aufzeigender Mittelwert)	8	10	18 (20)	26	41
Wasserflächenanteil in % (aufzeigender Mittelwert)	4	4	4 (4)	4	7
Versiegelungsgrad in % (aufzeigender Mittelwert)	28	20	14 (15)	11	8
ÖKO-Wert [dimensionslos] (aufzeigender Mittelwert)	0,58	0,63	0,67 (0,65)	0,70	0,74
Entwicklung der Flächenproduktivität	➤	➤	➤	➤	➤
Flächenproduktivität in EUR/m² Siedlungs- u. Verkehrsfläche (aufzeigender Mittelwert)	121	102	91 (90)	79	70

➤ forcierte Entwicklung

➡ Sicherung der ökologischen Qualität bei gleich bleibender Entwicklung

➔ restriktive Entwicklung

Nutzung von Brach- und Konversionsflächen zur Verbesserung der Grünflächen- und Grünvolumensituation:

- Die vorrangige Nutzung von brach gefallen Flächen als Grünpotenzial wird in den Städten der Cluster I und II empfohlen.
- Insbesondere Bäume sollten in diesen Städten angepflanzt werden, um das flächenspezifische Grünvolumen der Vegetationsschicht „hoch“ zu vergrößern und damit einen wirksamen lufthygienischen Beitrag auf mikroklimatischer Ebene zu leisten.
- Grundsätzlich gilt, dass mit steigendem Grünflächenanteil der Städte sich deren Energiebilanz verbessert, da Grünflächen die Verdunstungswerte verbessern und somit zur Abkühlung beitragen.
- Das Verbundmaß und das Isolationsmaß weisen darauf hin, dass vor allem in den Städten der Cluster I und II bei der Grünplanung Brachflächen als Grünflächenpotenziale Bedeutung erlangen und genutzt werden sollten. Sie sollten einerseits zum Aufbau von Grünachsen und andererseits zur Auflockerung sehr kompakter städtebaulicher Strukturen entwickelt werden.

Entwicklung der städtebaulichen Dichte:

- Die Ausweisung zusätzlicher Wohnbaulandflächen sollte wesentlich auf Städte der Cluster IV und V beschränkt bleiben.
- Die Flächenentwicklung mit der Orientierung auf kompakte Gebäude- und Bauungsformen geht grundsätzlich mit der Zunahme in der Siedlungsdichte, meist auch der Bevölkerungsdichte einher. In den Städten der Cluster III bis V ist die Forderung nach städtebaulicher Verdichtung ökologisch tragfähig. In den Städten der Cluster I und II sollten bauliche Verdichtungen auf die Potenziale der Baulückenschließung und des Dachgeschossausbaues orientieren.

Die aufzeigenden Mittelwerte für eine mittlere stadttökologische Qualität betragen 1 250 Einwohner je km² Stadtfläche bzw. 35 Einwohner je ha Siedlungs- und Verkehrsfläche. Eine vergleichende Betrachtung der aufzeigenden Mittelwerte in den Städte-Clustern III mit den strategischen Orientierungen auf

- (a) eine ökonomisch-ökologisch ausgewogene Leistungsentwicklung und
- (b) ein mittleres ökologisches Qualitätsniveau

weist Abstände in der Bevölkerungsdichte von 500 Einwohnern je km² bzw. in der Siedlungsdichte von 5 Einwohnern je ha aus (Tab. 12/01). Diese Abstände reflektieren clusterspezifische Wirkungstendenzen, die einer deutlichen Abnahme stadttökologischer Qualitätsniveaus bei zunehmender Bevölkerungs- bzw. Siedlungsdichte folgen (Abb. 11/01 Eigenschaftsstruktur Flächennutzung). Den kausalen Hintergrund für diese stochastische Beziehung bilden die mit der Arbeits- und Lebensweise korrespondierenden einwohnerspezifischen Ressourcen – insbesondere Flächeninan-

sprichnahmen und die stofflichen, energetischen und informationellen Umweltbelastungen. Hohe Bevölkerungs- und Siedlungsdichten sind deshalb grundsätzlich durch hohe Ressourceninanspruchnahmen und Umweltbelastungen und niedrige ökologische Qualitätsniveaus charakterisiert. Die skizzierten Entwicklungslinien „ökonomisch-ökologisch ausgewogen“ und „mittleres ökologisches Qualitätsniveau“ sind durch Dichteunterschiede von 29 % (Bevölkerungsdichte) und 12 % (Siedlungsdichte) gekennzeichnet.

Entwicklung der Grünausstattung:

- Die Grünausstattung der Städte ist eine wesentliche Größe für die ökologische Lebensraumqualität. Vor allem die Städte in den Clustern I und II sollten die Entwicklung brach gefallener Flächen mit dem Ziel der Verbesserung der städtischen Grünflächen- und Grünvolumenausstattung prüfen. Die Grünflächen- und Grünvolumenausstattung pro Einwohner steht in signifikanter Beziehung mit der klimatischen und lufthygienischen Situation der Städte.

Entwicklung der Freiflächen, des Freiraumes und der ökologischen Qualität:

- Um die stadtklimatische Situation in den Städten der Cluster I und II zu verbessern, wird empfohlen neue Waldflächen aufzuforsten. Beispielsweise können brach gefallene Ackerflächen, die nicht im Einzugsbereich der Frischluftzufuhr der Städte liegen, verstärkt in Waldflächen umgewidmet werden;
- Innerhalb der Siedlungsräume der Städte – vor allen in den Clustern I und II – sollten Maßnahmen zur Wohnumfeldverbesserung sowie des Wohnungsrückbaus stets mit Entsiegelung und Begrünung der für neue Nutzungen frei gewordenen Flächen erfolgen;
- Wasserflächen und Wasserläufe tragen im hohen Maße zur ökologischen Qualität der Städte bei. Sie sind wesentliche Elemente der Biotopstruktur und prägen das Landschaftsbild der Städte. In Renaturierungsmaßnahmen und Flächennutzungskonzeptionen sollten die in Kanälen geführten Oberflächengewässer freigelegt sowie Kiesgruben und Tagebauflächen verstärkt zu Wald- und Wasserflächen entwickelt werden.

Der aufzeigende Mittelwert des Versiegelungsgrades beträgt 15 %. Eine vergleichende Betrachtung der aufzeigenden Mittelwerte in den Städte-Clustern III mit den strategischen Orientierungen auf

- (a) eine ökonomisch-ökologisch ausgewogene Leistungsentwicklung und
- (b) ein mittleres ökologisches Qualitätsniveau

weist einen Abstand in der Bodenversiegelung von 3 % aus (Tab. 12/01). Der dargestellte Vergleich bestätigt die von der Siedlungs- und Verkehrsfläche abgeleiteten

Versiegelungsgrade. 3 % mehr an Bodenversiegelung erhöhen die sozialökonomischen Funktionen bzw. Leistungen städtischer Flächen und sind mit einem niedrigeren ökologischen Funktions- und Qualitätsniveau verbunden.

Entwicklung der Flächenproduktivität:

- Höherwertige tertiäre Produktionen und Dienstleistungen, die an keine zusätzlichen Flächeninanspruchnahmen gebunden sind, sollten in allen Städten forciert werden.
- Verringerung des Flächenbedarfes der Betriebe durch weniger flächenintensive technologische Abläufe.

Der aufzeigende Mittelwert von 90 EUR/m² Siedlungs- und Verkehrsfläche sollte für die Städte der Cluster IV und V eine Orientierung sein. Technische und technologische Änderungen und Weiterentwicklungen sollten in allen fünf Clustern zu forcierten Entwicklungen führen. Der aufzeigende Mittelwert der Flächenproduktivität in einer ökonomisch-ökologisch ausgewogenen Leistungsentwicklung liegt mit 111 EUR je m² Siedlungs- und Verkehrsfläche etwa 20 % über der Wertschöpfung, die bei einer strategischen Orientierung auf ein mittleres ökologisches Qualitätsniveau erreicht wird.

Literaturverzeichnis

- Albrecht, R.; Bartfelder, F. (1988): Ökologische Bewertung von Maßnahmen der Stadtinnenentwicklung. In: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.). Schriftenreihe Forschung 458. Bonn-Bad Godesberg.
- Arlt, G.; Füll, L.; Hennersdorf, J.; Kochan, B.; Lehmann, I.; Mathey, J.; Schwarz, M.; Stutzriemer, S.; Thinh, N. X. (2002): Stadtökologische Qualität und Vegetationsstrukturen städtischer Siedlungsräume. IÖR-Texte 139. Dresden.
- Arlt, G.; Gössel, J.; Heber, B.; Hennersdorf, J.; Lehmann, I.; Thinh, N. X. (2001): Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Bodenversiegelung und Bodenpreis. IÖR-Schriften 34. Dresden.
- Arlt, G.; Hennersdorf, J. (2003): Grünausstattung der statistischen Blöcke in Dresden. (unveröffentlichter Forschungsbericht), Landeshauptstadt Dresden, Amt für Umweltschutz.
- Arlt, G.; Hennersdorf, J.; Lehmann, I.; Socher, W.; Thinh, N. X. (2003): Basisindikator Vegetationsvolumen – Vorgehensweise und Fallbetrachtung Dresden. In: Stadtforschung und Statistik 2, 38-45.
- Arlt, G.; Kowarik, I.; Mathey, J.; Rebele, F. (Hrsg.) (2003): Urbane Innenentwicklung in Ökologie und Planung. IÖR-Schriften 39. Dresden.
- Arlt, G.; Weise, P. (1999): Strukturen, Selbstorganisation und Selbstähnlichkeit. In: Friedrichs, J.; Hollaender, K. (Hrsg.): Stadtökologische Forschung. Berlin.
- Baeseler, H.; Gelbrich, H.; Greiner, J.; Stefke, E.; Thiemann, H. (1974): Grünanlagen im Wohngebiet. In: Bauakademie der DDR. Institut für Städtebau und Architektur. Berlin.
- Becker, U.; Gerike, R.; Heinemann, T.; Rau, A. (2000): Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen. Im Auftrag des Freistaates Sachsen. Technische Universität Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie. Dresden.
- Beisch, T. (1998): Städtische Baum- und Grünflächeninformationssysteme. Ein Beitrag zur stadtökologischen Forschung. Dissertation Universität Göttingen.
- Billing, K. (2001): Ökonomische Bewertung von Flächennutzungskonkurrenzen in der nachhaltigen Stadt: Praktische Vorgehensweise. In: Richter, U.; Weise, P.; Biehler, H. (Hrsg.): Nachhaltige Siedlungs- und Flächenentwicklung in Großstadregionen. Berlin. 103-148.

- Billing, K.; Weise, P. (2001): Ökonomische Bewertung als Methode zur Entscheidung über Flächennutzungskonkurrenzen in der nachhaltigen Stadt: Theoretische Grundlage. In: Richter, U.; Weise, P.; Biehler, H. (Hrsg.): Nachhaltige Siedlungs- und Flächenentwicklung in Großstadregionen. Berlin. 83-102.
- Bökemann, D. (1984): Theorie der Raumplanung. München.
- Breuste, J. (1987): Methodische Aspekte und Problemlösungen bei der Erfassung der urbanen Landschaftsstruktur und ihrer ökologischen und landeskulturellen Bewertung unter Berücksichtigung von Untersuchungen in Halle/Saale. Dissertation B, Fakultät für Naturwissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle.
- Bruse, M. (2003): Stadtgrün und Stadtklima. In: LÖBF-Mittellungen 1, 66-70.
- Bühl, A.; Zöfel, P. (1999): SPSS Version 9, Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. München.
- Cerwenka, P. (1999): Bewirken neue Straßen mehr Verkehr? In: Straßenverkehrstechnik 5, 209-211.
- Das Internet-Magazin für Geo- und Naturwissenschaften (2001): Lebensraum Stadt: Artenarme Betonwüste oder lebendiger Flickenteppich? Abgerufen am 04.03.2003 unter <http://www.geowissenschaften.de/index20.htm>.
- Das Internet-Magazin für Geo- und Naturwissenschaften (2001): Klimaanlage Straßenbaum. Abgerufen am 04.03.2003 unter <http://www.geowissenschaften.de/index20.htm>.
- Daten zur Bodenbedeckung (1996): Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Datenbank Statistik Regional (1997 und 2002): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. Statistisches Bundesamt Wiesbaden.
- Doetsch, P.; Rüpke, A. (1997): Projektbegleitung: Prof. Dipl. Ing. Harald Burmeier: Revitalisierung von Altstandorten versus Inanspruchnahme von Naturflächen. Gegenüberstellung der Flächenalternativen zur gewerblichen Nutzung durch qualitative, quantitative und monetäre Bewertung der gesellschaftlichen Potentiale und Effekte, Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben Nr. 103 40 119. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Abgerufen am 15.05.2003 unter <http://www.umweltbundesamt.de/altlast/web1/berichte/gwiese/gwiese32.htm>.
- Duhme, F.; Pauleit, S. (1992): Strukturtypenkartierung als Instrument der räumlich-integrativen Analyse und Bewertung der Umweltbedingungen in München. Teil 1: Ziele und Methodik. Freising.

- Feldkötter, C. (1994): Ein photogrammetrisches Gehölzkataster für das Monitoring städtischer Gehölzvegetation unter stadtökologischen Aspekten. Diplomarbeit des Forstwissenschaftlichen Fachbereiches der Georg-August-Universität Göttingen.
- Finke, L. (1993): Stadtentwicklung unter ökologisch veränderten Rahmenbedingungen. In: Zukunft Stadt 2000. Stuttgart. 321-381.
- Finke, L. (1994): Landschaftsökologie – Das Geographische Seminar. Braunschweig.
- Gassner, E. (1993): Methoden und Maßstäbe für die planerische Abwägung. Bundesanzeiger. Köln.
- Großmann, M.; Pohl, W.; Schulze, H. D. (1984): Bodenfunktionszahl, Grünvolumenzahl, Grünzahl. Gutachten im Auftrag der Umweltbehörde Hamburg.
- Grunicke, U.; Böcker, R.; Richter, M. (2002): Ökologische Bewertung von Freiflächen im Ballungsraum Mittlerer Neckar. Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie Universität Hohenheim, Fachgebiet Landschaftsökologie und Vegetationskunde.
- Gutmann, K. et al. (1995): Ökonomische Aspekte von Flächennutzungskonkurrenzen bei nachhaltiger Entwicklung. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften (unveröffentlichtes Manuskript). Kassel.
- Hartung, J.; Elpelt, B. (1995): Multivariate Statistik. München, Wien.
- Heber, B.; Lehmann, I. (1993): Stadtstrukturelle Orientierungswerte für die Bodenversiegelung in Wohngebieten. IÖR-Schriften 05. Dresden.
- Heber, B.; Lehmann, I. (1996): Beschreibung und Bewertung der Bodenversiegelung in Städten. IÖR-Schriften 15. Dresden.
- Hege, H.-P.; Lausterer, H.; Scheffler, V.; Schwarting, H. (1998/99): Verbesserung des Stadtklimas durch Grün – Wirkungen, Planung und Umsetzung – Seminarpapier im Rahmen der Veranstaltung Instrumente der ökologischen Planung, Stadtklima 21; Universität Kaiserslautern, Lehr- und Forschungsgebiet Ökologische Planung und UVP; WS.
- Hennersdorf, J. (1998): Strukturelle Determinanten der Bodenpreise in den kreisfreien Städten Deutschlands. Diplomarbeit TU Dresden, Institut für Wirtschaft und Verkehr. Dresden.
- Huber, B. (Hrsg.) (1992): Städtebau – Raumplanung. Zürich.
- Initiative für Städtedialog (1999): Bericht zu Bausteinen einer nachhaltigen Stadtentwicklung in der Europäischen Union. Treffen der für Raumordnung zuständigen Ministerinnen und Minister der Europäischen Union. Potsdam.

- Kellner, K.; Pillmann, W. (2002): BiotopMonitoring Wien. Gesamtbericht 1996-2002. Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen. Wien.
- Kling, H.-J. (2000): Flora und Vegetation. In: Tietze, W.; Boesler K.- A.; Klink, H.-J.; Voppel, G. (Hrsg.): Geographie Deutschlands, Gebrüder Borntraeger Berlin, Stuttgart. 309-339.
- Kolender, K. (2000): Die Funktion von Grünflächen in der Stadt; Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Geographische Institute. Bonn
- Kraft, M.; Landes, Th. (1996): Statistische Methoden. Heidelberg.
- Landeshauptstadt München (1998): Perspektiven für stadtverträgliche Konzepte München 21.
- Lörzing, H. (1998): Urbane Freiraumgestaltung: Ein Stück Landschaft in die Stadt einbringen. European Conference of Landscape Architecture Schools. Wien.
- Meurer, P.; Nagel, B.; Roller, G.; Weise, P. (2001): Die Steuerung der Siedlungs- und Flächenentwicklung unter dem Aspekt der ökologischen Tragfähigkeit. In: Richter, U.; Weise, P.; Biehler, H. (Hrsg.): Nachhaltige Siedlungs- und Flächenentwicklung in Großstadregionen. Berlin. 205-241.
- Miess, B.; Miess, M. (1997): Materialien zur Grünordnungsplanung – Teil 1: Siedlungsökologische und gestalterische Grundlagen. In: Landesanstalt für Umweltschutz (Hrsg.): Schriftenreihe Untersuchungen zur Landschaftsplanung 10. Karlsruhe.
- Miller, T. (1999): Urban Climatology and Air Quality. Heat Island; Abgerufen am 13.05.2003 unter http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban_heat_island.html/
- Müller, B.; Hutter, G.; Siedentop, S.; Westphal, C. (2001): Handlungsansätze zur Berücksichtigung der Umwelt-, Aufenthalts- und Lebensqualität im Rahmen der Innenentwicklung von Städten und Gemeinden – Fallstudien. F+E-Vorhaben 200 16 112 des Umweltbundesamtes, 1. Zwischenbericht.
- Nohl, W. (1993): Kommunales Grün in der ökologisch orientierten Stadterneuerung. Handbuch und Beispielsammlung. Studien/IMU-Institut München, 19.
- Pauleit, S.; Duhme, F. (1999): Stadtstrukturtypen. Bestimmung der Umweltleistungen von Stadtstrukturtypen für die Stadtplanung. In: RaumPlanung 84.
- Pillmann, W.; Kellner, K.; Klar, J. (2001): Grünrauminventar im städtischen Bereich Methodik und Anwendung der flächendeckenden Erfassung Wiener Grünräume. In: Papers of CORP. Wien.
- Rebele, F. (2003): Was können Brachflächen zur Innenentwicklung beitragen? In: Arlt, G.; Kowarik, I.; Mathey, J.; Rebele, F. (Hrsg.): Urbane Innenentwicklung in Ökologie und Planung. IÖR-Schriften 39. Dresden.

- Richter, M.; Grunicke, U.; Böcker, R. (2001): Boden- und Flächenressourcen-Management in Ballungsräumen: Entwicklung von Bewertungsrahmen zur Beurteilung der ökosystemaren Potenziale verschiedener Nutzungs- und Strukturtypen im urbanen Bereich. Zwischenbericht des Programms Lebensgrundlage Umwelt (BWPLUS), 4, 5.
- Rüegg, J.; Viret, O. (2002): Fungizidbehandlungen bei Steinobstbäumen: Baumvolumenkonzept und Rückstände. In: Schweizerische Zeitschrift für Obst-Weinbau, Nr. 11/02, 262-266.
- Sachs, L. (1992): Angewandte Statistik. Berlin, Heidelberg.
- Schubert, R. (1991): Lehrbuch der Ökologie. Jena.
- Schulte, W.; Sukopp, H.; Werner, P. (1993): Flächendeckende Biotopkartierung im besiedelten Bereich als Grundlage einer am Naturschutz orientierten Planung – Programm für die Bestandsaufnahme, Gliederung und Bewertung des besiedelten Bereichs und dessen Randzone – Überarbeitete Fassung 1993. Arbeitsgruppe „Methodik der Biotopkartierung im besiedelten Bereich“. In: Natur und Landschaft 10, 491-526.
- Singer, C. (1995): Stadtökologisch wertvolle Flächen in Nordrhein-Westfalen. Dortmund.
- Statistisches Bundesamt, Datenbank Statistik Regional: Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. Ausgaben 1997 und 2002.
- Stuffel, J. (2001): Bäume in der Stadt; Seesen. Abgerufen am 14.05.2003 unter http://www.stuffel-seesen.de/gruene/natur/baum_stadt.htm.
- Sukopp, H. (1994): Umweltsituation und deren Erfassung und Beurteilung. In: Ermer, K.; Mohrmann, R.; Sukopp, H. (Hrsg.): Stadt und Umwelt. Bonn. 23-54.
- Sukopp, H.; Wittig, R. (Hrsg.) (1998): Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis. Stuttgart.
- Umwelt-Lexikon: Abgerufen am 06.05.2003 unter <http://www.umweltministerium.bayern.de/service/lexikon/w.htm>.
- Vogt, J. (2002): Raumzeitliche Differenzierung lufthygienischer Austauschleistungen in bebauten Tallagen. In: Mayr, A.; Meurer, M.; Vogt, J. (Hrsg.): Stadt und Region – Dynamik von Lebenswelten. Deutsche Gesellschaft für Geographie. Leipzig.
- Wickop, E. (1999): Qualitätsziele für eine nachhaltige Stadtentwicklung – Methodische Aspekte eines Konzeptes für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig. In: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung Jg. 12, 98.
- WUA-News (2001): Wozu brauchen wir Bäume in der Stadt? Abgerufen am 13.06.2003 unter http://www.wien.gv.at/wua/n5_01.htm.

- Zigrai, F. (1989): Ausgewählte theoretisch-methodische Aspekte der Flächennutzungsforschung und ihre Anwendungsmöglichkeiten für die Flächennutzungsprognose. In: Arbeitskreis der Flächennutzungsforschung (Hrsg.). Wien. 306-318.